This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

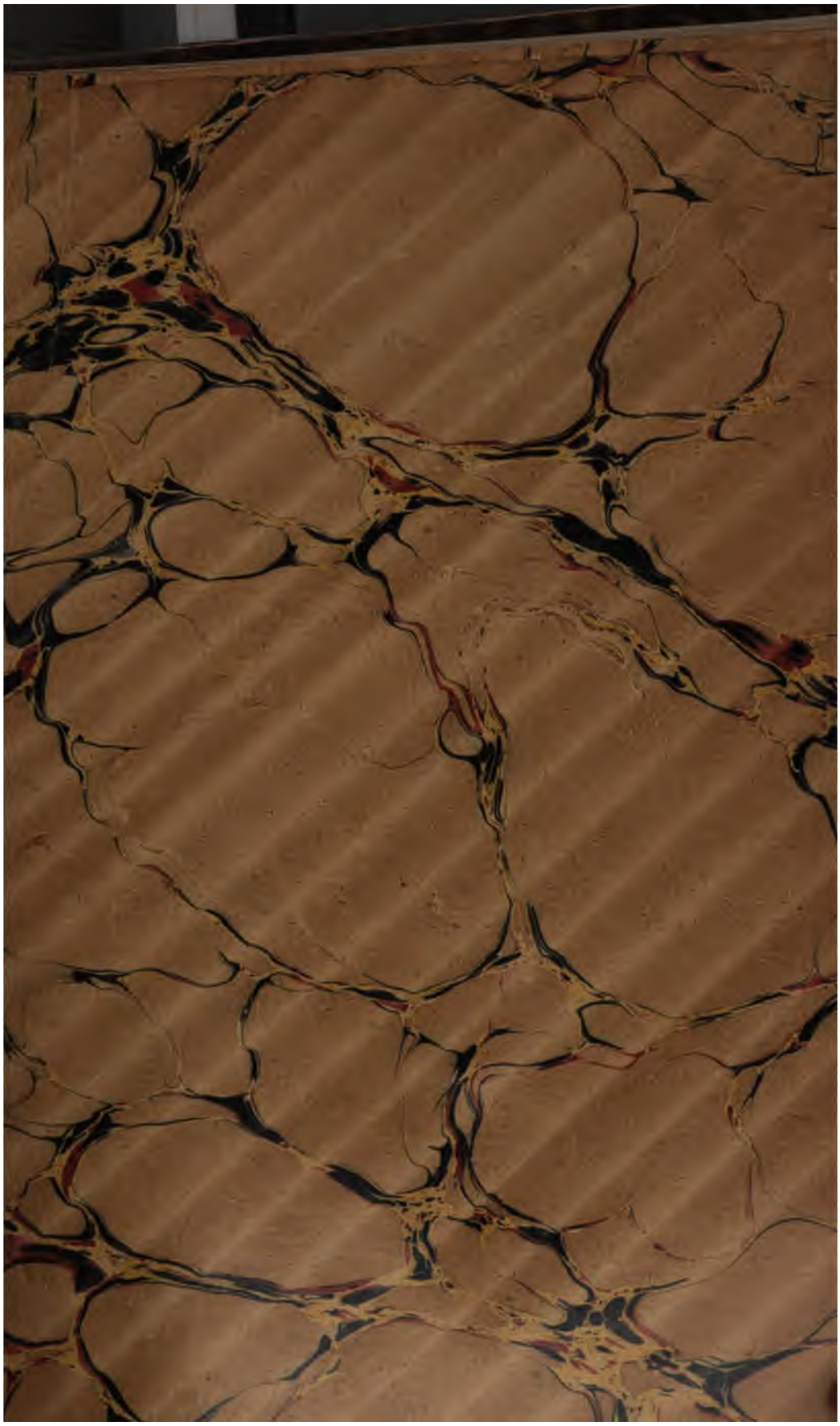
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

ARY OF THE
nford Junior University
LOAN DESK THE LIBRARY

The Hopkins Library
presented to the
Leland Stanford Junior University
by Timothy Hopkins.



GUSTAV E. STECHERT
810 Broadway
NEW-YORK.

TRAITÉ PRATIQUE

DE

L'ÉTABLISSEMENT, DE L'ENTRETIEN & DE L'EXPLOITATION

DES CHEMINS DE FER

PARIS. — IMPRIMERIE E. BERNARD ET Cie

23, RUE DES GRANDS-AUGUSTINS, 23

TRAITÉ PRATIQUE
DE L'ÉTABLISSEMENT
DE L'ENTRETIEN & DE L'EXPLOITATION
DES
CHEMINS DE FER

PAR

CH. GOSCHLER

INGÉNIEUR DE L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

et successivement

INGÉNIEUR AUX CHEMINS DE FER D'ALSACE,
INGÉNIEUR PRINCIPAL AUX CHEMINS DE FER DE L'EST,
DIRECTEUR GÉNÉRAL DU CHEMIN DE FER HAINAUT ET FLANDRES,
DIRECTEUR DU CONTROLE
DE LA CONSTRUCTION DES CHEMINS DE FER DE LA TURQUIE D'EUROPE, ETC.

3e Édition, revue, corrigée et augmentée

PAR

P. GUILLEMANT

INGÉNIEUR DE L'ÉCOLE CENTRALE DES ARTS ET MANUFACTURES

et successivement

INGÉNIEUR D'ATELIERS DE CONSTRUCTION DE MATÉRIEL DE CHEMINS DE FER,
INGÉNIEUR DES CHEMINS DE FER DE MAINE-ET-LOIRE ET NANTES,
DE LA BEIRA-ALTA, ET DE SOCIÉTÉS DE CONSTRUCTION DE CHEMINS DE FER, ETC.

Première Partie

SERVICE DE LA VOIE

TOME PREMIER (1er FASCICULE)

PARIS
E. BERNARD ET Cie, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
53ter, Quai des Grands-Augustins, 53ter

1894

LIBRARY
UNIVERSITY

H. 4075.

~~A 19007~~.

TRAITÉ PRATIQUE

DE

L'ÉTABLISSEMENT, DE L'ENTRETIEN & DE L'EXPLOITATION DES CHEMINS DE FER

INTRODUCTION

Des conditions générales réglant l'établissement des voies ferrées. — L'établissement d'un chemin de fer nécessite toujours l'intervention de l'autorité supérieure, qu'il s'agisse de simples permissions, d'autorisations ou de concessions.

Cette ingérence de l'État s'exerce généralement en faveur de l'entreprise à laquelle elle apporte une réglementation sage et prudente, et souvent aussi un concours financier. Nous verrons dans le cours de cet ouvrage quelles sont les conditions pratiques que les dits règlements doivent contenir ; examinons rapidement quels sont les concours prêtés.

Un chemin de fer livré à l'exploitation doit être traité commercialement et industriellement comme une entreprise quelconque de transport qu'il soit exploité par une Compagnie privée ou par un État. Cette vérité élémentaire est souvent écartée et dans certains pays on a identifié le réseau des chemins de fer avec les grandes institutions publiques sans se préoccuper d'ailleurs des résultats financiers qu'ils pouvaient donner. Au point de vue économique seul, il paraitrait plus rationnel de voir l'État abandonner entièrement à l'industrie privée l'entreprise des chemins de fer, construction et ex-

ploitation avec ses risques et ses bénéfices. Malheureusement on oublie vite les services rendus, les moments critiques passés auss bien que les difficultés de la première heure; et que les résultats soient favorables ou non, on ne tient pas toujours compte des années de labeur.

La conviction de tout ingénieur impartial doit être faite sur l'étendue de la capacité de tout État au point de vue commercial et industriel; on ne saurait méconnaître qu'il se trouve tout naturellement placé dans une situation d'infériorité vis-à-vis de l'industrie privée. Cela ne veut certes pas dire que l'État doive se désintéresser complètement de la question mais ne conviendrait-il pas de laisser à l'État, à son administration, la seule mission qui doit lui incomber et qui est celle du contrôle et de la surveillance ?

Le taux auquel un État peut contracter un emprunt, est influencé par des causes politiques qui sont entièrement étrangères à l'application que l'on veut faire à des travaux publics des sommes demandées aux souscripteurs.

C'est précisément dans les moments d'accalmie où le commerce et l'industrie souffrent du manque de transactions que tout Gouvernement cherche à réagir en offrant du travail par l'exécution de grands travaux publics.

A cette époque son crédit est plus ou moins ébranlé et nécessairement il empruntera à un taux élevé. Vienne une perturbation politique intérieure ou extérieure et il se trouvera dans l'impossibilité de placer sa rente.

Nous parlons d'une façon générale sans viser aucune Nation en particulier.

N'y a-t-il pas des puissances qui ne trouvaient que difficilement à contracter des emprunts dans les conditions les plus onéreuses et qui ont pu néanmoins concéder des lignes ferrées pour lesquelles le public a fourni cependant le capital nécessaire.

Il y a une autre considération qui vient à l'appui de cette thèse et que nous allons exposer.

Pour faire face à ses obligations l'État doit restreindre le plus possible les limites dans lesquelles ses revenus peuvent varier. Or il y a des causes indépendantes d'une bonne et prudente administration qui interviennent, les impôts ainsi que les autres ressources du trésor peuvent ne [illegible] ine somme inférieure aux prévisions, et les tr[illegible] une crise, le déficit peut se [illegible] tte crise commerciale et

industrielle que les chemins de fer voient leurs recettes baisser, est-il donc logique d'ajouter au premier déficit, la totalité des insuffisances de recettes de lignes appartenant à l'État et administrées pour son compte ?

Si, au contraire, les chemins de fer sont exploités par des Compagnies privées jouissant de la garantie de l'État, celui-ci n'intervient que pour une partie des insuffisances de recettes, à titre de prêteur, si le contrat de concession est sagement conformé.

Une administration prudente mettra à la réserve des sommes importantes provenant des recettes des années prospères afin d'arriver à restreindre dans des limites étroites les conséquences de ces variations de trafic. Un État ne peut en faire autant.

En ce qui concerne les dépenses d'exploitation, on constate que les résultats obtenus par les Compagnies privées sont toujours plus favorables que ceux des lignes exploitées par l'État [1], cela tient essentiellement à ce que les Compagnies sont administrées suivant des méthodes plus commerciales.

En accordant une concession, l'État ne peut généralement pas se désintéresser de la question financière. Des exceptions sont à citer néanmoins et notamment l'Angleterre, mais il convient de remarquer aussitôt que les conditions générales des voies ferrées de la Grande-Bretagne ne sauraient être comparées à celles des autres lignes d'Europe.

Il est indiscutable que les premières voies construites en Angleterre offraient au public la certitude d'un trafic important et rémunérateur et l'intervention de trésor paraissait superflue. Cependant les résultats obtenus par l'exploitation ne sont pas également favorables, certaines lignes ont coûté fort cher et les capitaux engagés ne réalisent que des bénéfices médiocres.

L'exemple du Royaume-Uni n'est donc pas à opposer dans la plupart des cas. En Europe tous les gouvernements se sont efforcés d'encourager les entreprises de chemins de fer en participant à la dépense de diverses manières.

On a appliqué :

1° La subvention une fois versée ;

2° La subvention fixe pendant un certain nombre d'années ;

3° La garantie d'intérêt du capital de premier établissement ;

1. *Les chemins de fer de l'État et les chemins de fer concédés à des Compagnies privées* par Charles Baume, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

4° La garantie d'intérêt de ce capital subordonné au montant de la recette, etc., etc.

En France on a employé longtemps le premier mode qui offre certains inconvénients; il est encore en usage en Espagne, etc.

La subvention fixe pendant un certain nombre d'années représentant en réalité l'intérêt et l'amortissement d'une subvention que l'État ne peut ou ne veut verser immédiatement est en usage en Italie notamment.

La formule qui paraît avoir prévalu est celle de la garantie d'intérêt soit entière, soit limitée, avec ou sans remboursement.

Pour ménager tous les intérêts, on doit s'efforcer d'établir les contrats de concession de façon que la Compagnie concessionnaire ne puisse retirer un bénéfice quelconque des sommes ainsi versées par l'État contractant, et reste intéressée à exploiter le plus économiquement possible.

Le remboursement de ces avances sans intérêt s'effectue aussitôt que les recettes suffisent pour payer l'intérêt du capital garanti. Dans certains cas une proportion déterminée de la recette nette à partir d'un certain chiffre revient à l'État, à la province, etc; sans qu'il soit établi de limite aux sommes ainsi versées; l'État, la province, etc., devenant par suite un co-participant de l'entreprise (1).

Les chemins de fer possèdent à un haut degré un intérêt stratégique indiscutable et les gouvernements prudents ont dû se préoccuper du développement rationnel de cet auxiliaire puissant de la victoire.

Certains pays dont le crédit est profondément atteint ont dû affecter des impôts ou des produits de douane au paiement des insuffisances des recettes garanties pour des lignes affectant ce caractère à des degrés divers.

Signalons aussi le développement qu'on s'est efforcé de donner au réseau des lignes secondaires à voie normale ou à voie étroite tant en France qu'à l'étranger. Les conditions générales des concessions de ces chemins de fer s'écartent naturellement de celles des grandes lignes, les recettes devant être très réduites; aussi est-il indispensable de rechercher les conditions d'établissement les plus économiques ainsi que les procédés d'exploitation les plus simples.

En France cette préoccupation a donné lieu à la loi du 11 juin 1880 dont nous donnons le texte aux annexes.

1. Voir : *Annales des Ponts et Chaussées*, décembre 1889. Étude par M. Noblemaire, Directeur de la Compagnie des Chemins de fer de P.-L.-M.

CHAPITRE PREMIER

ÉTUDES ET TRACÉS

1. — Considérations générales. — En examinant les conditions générales de la construction de la Voie (Chapitre V, § I), nous avons indiqué quelques-unes des considérations qui peuvent guider l'Ingénieur chargé de l'étude d'une voie ferrée. Les observations suivantes n'ont d'autre but que de résumer le programme des recherches générales qui précèdent l'élaboration d'un avant-projet, et des conditions d'étude sur le terrain.

L'étude du trafic, préalable à toutes les autres, porte sur les questions suivantes :

— Quelle sera l'importance du mouvement des voyageurs et des marchandises ?

— Dans quel sens les principaux transports s'effectueront-ils ?

La recherche de l'importance du trafic conduit à déterminer les limites des tarifs, qui permettent aux voyageurs et aux marchandises d'employer la nouvelle voie de communication et au chemin de fer de trouver dans les recettes une rémunération convenable des fonds de l'entreprise.

Vient ensuite l'examen du mode de construction, du type à choisir. Sera-ce un chemin économique de construction et relativement coûteux d'exploitation, c'est-à-dire de longues et raides sinuosités et des déclivités excessives, ou *vice-versâ* (1) ?

(1) Quel que soit le désir d'ailleurs très légitime de réduire au minimum les dépenses d'établissement, encore ne faut-il pas, comme nous l'avons vu sur le chemin de Rustschuck à Varna, pousser l'économie jusqu'à l'exagération de la parcimonie et infliger au tracé des courbures fantastiques et des inclinaisons exagérées, en s'attachant opiniâtrement à effleurer la surface du sol, alors que les conditions topographiques permettaient de ramener la ligne en question à des conditions normales moyennant de très faibles mouvements de terre.

Ces études épuisées, on passe aux questions suivantes :

Dans quelle direction faudra-t-il ménager les pentes et les courbes ?

Pourra-t-on les reporter sans trop d'inconvénients sur certains points du parcours ?

Le chemin de fer aura-t-il *deux voies ?*

Dans le cas d'un chemin à *deux voies*, mais l'exploitation devant se faire sur *voie unique* pendant une certaine période, construira-t-on immédiatement les terrassements et ouvrages d'art pour les deux voies ou pour une seule ?

En supposant que l'on n'exécute les terrassements et ouvrages d'art que pour *voie unique*, achètera-t-on immédiatement les terrains nécessaires à l'établissement de la deuxième voie ?

La plupart des lignes à grand trafic étant achevées, ou du moins très avancées dans leur établissement, les lignes qui restent à construire sont dans presque toute l'Europe ou bien de parcours réduit ou de trafic restreint. La question est donc en grande partie résolue en faveur des chemins à une voie.

L'expérience acquise en France, en Angleterre, etc., a démontré que les recettes d'exploitation pouvaient atteindre des produits kilométriques considérables, de 30.000, 40.000 et même 50.000 francs par kilomètre, sans compromettre aucun intérêt.

Grâce aux mesures adoptées pour la direction de la marche des trains — 3e Partie. — EXPLOITATION. *Trains.* — on arrive à exploiter avec toute sécurité des sections de ligne à une voie qui se développent sur plus de 100 kilomètres, sans autres parties en double voie que les gares d'évitement dans les stations de croisement.

Dans la majorité des cas qui se présentent aujourd'hui, il n'y a à se préoccuper que de l'acquisition des terrains et de l'exécution des travaux pour une seule voie.

Une autre question se pose ensuite, c'est celle de la largeur de la voie à adopter. Elle est souvent résolue en ce qui concerne les voies à intercaler entre les mailles plus ou moins espacées d'un réseau d'une certaine importance par certaines considérations politiques ou militaires.

Nous donnons plus loin (Chapitre V, § II) les largeurs de voies admises dans différents pays ; il suffira de dire ici que les largeurs adoptées par l'Espagne et la Russie revêtent un caractère stratégique et non un caractère technique.

Nous discutons dans le même chapitre les motifs qui peuvent faire recommander l'adoption d'une largeur de voie déterminée.

2. — Avant-Projet. — Le programme qui précède étant arrêté et les conclusions de l'étude du trafic étant favorables à l'établissement de la voie ferrée on procède d'abord à l'étude d'un avant-projet.

Ce travail est d'une certaine importance si on ne possède pas une carte suffisamment exacte avec courbes de niveau. Dans le cas contraire lorsque cette carte (fig. 1) dite d'État-Major, est établie à une échelle assez grande avec courbes de niveau assez rapprochées, on peut faire sur ses données une étude approximative qui permet de se rendre un compte suffisant des points de passage de la ligne. On procède ensuite à une reconnaissance du terrain et à une vérification du tracé ainsi projeté. Mais souvent ces études faites en vue d'une demande en concession sont trop hâtives pour être exactes et le projet définitif dont nous parlerons tout à l'heure, est appelé à s'éloigner souvent du premier dans des limites importantes.

Au cas où la carte d'État-Major n'existe pas, l'avant-projet, s'il est établi consciencieusement, ne laisse pas que d'offrir certaines difficultés. On trace sur une carte élémentaire les lignes directes reliant les points de passage, soit bourgs, villages, mines, ponts, etc., et on abandonne à l'Ingénieur des études, le soin de rechercher le tracé le plus court, le plus économique et le plus satisfaisant à tous égards.

Sa mission est souvent pénible mais toujours difficile. Dans certains pays primitifs il doit se tailler un chemin à travers des forêts et il est fort rare qu'il arrive ainsi du premier jet au tracé à adopter. Le but poursuivi n'est d'ailleurs pas cet objectif, il consiste généralement à démontrer la possibilité de l'établissement d'une ligne dans des conditions techniques acceptables et à en arrêter les éléments principaux.

A l'inverse du premier cas on ne détermine pas à l'avance, d'une manière absolue, le maximum des rampes et le minimum des rayons ; on doit, au contraire, laisser au chef de la mission l'initiative la plus grande.

Le dossier de l'avant-projet comprend généralement :

1° une carte à une échelle variable ;

2° un plan assez souvent au $\frac{1}{10.000}$

3° un profil en long à la même échelle ;

4° des profils en travers aussi nombreux que possible et surtout levés aux points importants ;

5° un mémoire descriptif des points de passage de la ligne avec indication des variantes qui devront être étudiées ultérieurement ;

6° un devis estimatif aussi exact que possible, contenant les dépenses de construction et l'évaluation des recettes du trafic.

Ce dossier d'avant-projet sert à démontrer l'utilité de la ligne et à en obtenir la concession. En Espagne, les auteurs du premier avant-projet d'une voie ferrée ont un droit dit de « Tantéo », qui leur accorde la faculté de prendre la concession de cette ligne aux conditions qui seraient présentées par d'autres demandeurs en concession.

Le devis estimatif est basé sur le calcul des terrassements et mouvements de terre, il contient la nomenclature exacte des ouvrages d'art, stations et haltes, passages à niveau gardés ou non.

Le mémoire descriptif contient les tableaux des rampes, pentes et paliers, des rayons des courbes, angles au sommet, ce qui permet de définir la longueur virtuelle de la ligne relative au travail mécanique qu'elle exigera.

Ces divers renseignements n'ont pas la même utilité dans les pays moins civilisés où il s'agit surtout d'aller vite en produisant le maximum de travail, soit le plus grand nombre de kilomètres reconnus pendant la durée d'une campagne tout en ménageant la santé des opérateurs.

3. — Projet définitif. — La concession obtenue ou tout au moins la création de la nouvelle voie étant décidée, il s'agit d'établir le projet d'exécution de la ligne basé sur les données générales de l'avant-projet.

Un examen attentif du terrain doit être fait par l'ingénieur, en vue de reconnaître les variantes qui permettraient d'économiser une partie de la dépense. Pendant cette reconnaissance l'ingénieur détermine les points de repères.

Après avoir nivelé les points de repères, on établit la ligne d'opération qui est chaînée et piquetée.

Le plan coté ainsi arrêté, est reporté sur le papier et sert à l'établissement du plan et du profil en long. La ligne d'opération piquetée sur le terrain, sert à l'établissement de l'axe de la ligne définitive.

4. — Pentes et courbes. — Nous indiquerons ci-dessous les limites qui doivent être adoptées dans l'emploi des pentes et courbes. Les faits acquis par suite des perfectionnements apportés au matériel moteur et roulant ont permis d'élargir le cadre restreint qui était imposé antérieurement. Aujourd'hui suivant les pays et surtout en raison de la nature du trafic à desservir on emploie des rampes très fortes et des rayons très faibles.

Avec la voie normale de $1^{m},45$, les locomotives et les vagons ordinaires circulent facilement sur des lignes présentant des courbes dont le rayon minimum descend à 200 mètres et même à 150 mètres en pleine voie et à 80 m., en stations et dont les rampes atteignent $0^{m},05$ par mètre. Ces limites sont

encore dépassées, mais au détriment de la vitesse et de la charge remorquée, et dans certains cas en exigeant l'emploi de systèmes de traction spéciaux, que nous avons indiqués à la 2e partie de cet ouvrage — LOCOMOTION — et qui ne s'appliquent qu'exceptionnellement. Avec les voies étroites de 1 mètre, $0^m,75$, $0^m,60$ et au-dessous, ces limites en ce qui concerne les courbes sont, avec l'emploi du matériel articulé, abaissées à 40 et même 25 mètres.

Dans l'étude du projet d'établissement d'un chemin de fer on doit rechercher les exemples analogues pour fixer et arrêter ces limites, et dans la plupart des cas on adopte les chiffres qui permettent de faire suivre de très près au tracé les ondulations du sol, quand l'importance du trafic ne réclame pas l'exécution d'un chemin de grande vitesse, à faibles pentes, à courbures peu prononcées, d'un prix de revient élevé.

Rappelons à l'ingénieur que son projet de tracé doit être combiné de manière à concilier, autant que possible, les conditions d'économie de construction et les exigences de l'exploitation de la ligne.

Si donc, d'une part, il peut être enclin, pour éviter de forts mouvements de terre ou d'importants ouvrages, à adopter de fortes rampes et des courbes raides il ne doit pas oublier les charges que ces éléments constitutifs de la voie imposeront ultérieurement à l'exploitation.

Mais nous ne saurions trop insister sur ce point : le but à atteindre par l'ingénieur ne saurait être le même dans tous les cas et ses études doivent être guidées par la nature et l'importance du trafic à desservir.

Il ne convient pas d'être aussi exigeant pour les lignes à faible trafic que pour celles à trafic de quelque intensité.

On est ainsi amené à établir une comparaison entre les lignes analogues et les différentes variantes étudiées sur le terrain afin de pouvoir arrêter le tracé le plus favorable eu égard à toutes les données du problème.

On compare la longueur de chaque tracé à la longueur horizontale et rectiligne équivalente à chacun d'eux ou bien à la longueur virtuelle.

Cette ligne fictive peut être calculée soit en raison du travail mécanique à développer ou de la résistance, soit en considération des dépenses de traction, des prix des tarifs, des vitesses, etc.

La comparaison la plus intéressante est celle qui est relative au travail mécanique.

Notre savant maître et ami Ch. Baume, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, définit ainsi la longueur virtuelle relative au travail mécanique :

La longueur virtuelle relative au travail mécanique d'une ligne de chemin de fer AB en rampe et en courbe, est la longueur d'une ligne

idéale horizontale et rectiligne, sur laquelle le travail à développer (ou la résistance à vaincre) à égalité de vitesse, est le même que sur la ligne AB, pour le transport d'une tonne de poids brut.

Nous renvoyons nos lecteurs à son très intéressant mémoire sur *les longueurs virtuelles d'un tracé de chemin de fer*, pour l'étude des diverses méthodes employées.

Il est encore d'autres considérations qu'il ne faut pas perdre de vue : l'expérience a démontré, par exemple, que les tranchées occasionnent des frais d'entretien souvent considérables et amènent, en raison de leur humidité permanente une diminution d'adhérence des locomotives, qui se traduit par une réduction de vitesse ou de charge remorquée.

Cette réduction de puissance s'accroît encore, quand la tranchée est en courbe, ou bien lorsqu'il s'agit de franchir un tunnel dont la voie conserve un état *gras* produit soit par la présence de l'eau des terrains traversés, soit par la condensation de la vapeur des locomotives (Chemin de fer du col du Mont-Cenis).

Dans les inflexions de la ligne en pleine voie, les courbes en sens contraire doivent être séparées par un alignement droit d'une étendue au moins égale à la longueur totale d'un train. Afin de faciliter le service de la traction, dans les fortes rampes d'une certaine longueur, on ménagera des paliers distants entre eux de 5 à 6 kilomètres au plus, en reportant sur des alignements droits les inclinaisons les plus fortes.

5. — Embranchements. — Une des causes les plus fréquentes de rencontre des trains en marche, cause qui tendrait à se développer en raison de l'extension que doit prendre la construction des nouveaux réseaux, résulte de la position des embranchements des lignes secondaires. Ces embranchements se raccordent généralement aux voies principales entre deux stations, c'est-à-dire en un point de la ligne où le service des appareils et signaux est confié généralement à des agents isolés, qu'il est souvent difficile de surveiller et de prévenir en temps convenable des perturbations survenues dans la marche des trains. On diminuerait la dépense et les chances d'accidents en fixant l'origine des embranchements dans l'une des stations de la ligne principale.

Quel qu'en soit d'ailleurs le point de départ, il faut éviter au raccordement, les courbes trop prononcées et les tranchées dépassant 1 mètre de profondeur, afin que les aiguilleurs chargés de livrer passage puissent de la voie aperce-

voir les trains à leur approche et surtout s'assurer, par la vue directe de l'état des signaux.

Des mesures spéciales de protection sont prises presque généralement aujourd'hui aux embranchements importants où l'on concentre la manœuvre des aiguilles en un seul point. — TOME II.

6. — Gares et stations. — Les stations ou garages doivent être en palier et l'ingénieur devra s'efforcer de les établir autant que possible en alignement droit. La première condition doit être remplie pour les voies principales et pour celles où s'opèrent des manœuvres de vagons autres que celles de triage et de décomposition de trains.

Il faut rechercher les moyens économiques de placer la station le plus près des bourgs, villages ou villes à desservir et dans ce dernier cas de préférence à proximité des quartiers les plus commerçants. Le principal obstacle gît dans la dépense qu'entraîne l'acquisition des terrains dont le chemin de fer a besoin, pour l'établissement de la gare et de ses dépendances.

Aussi les villes intéressées à ce que les gares présentent le plus de commodité possible au public, devraient participer à la dépense extraordinaire motivée par l'introduction du chemin de fer dans leur enceinte, et le mode le plus rationnel à adopter serait de mettre à leur charge les frais d'acquisition des emprises nécessaires à l'établissement des gares.

Les emprises de terrains doivent toujours être calculées de manière à donner aux stations tout l'espace dont elles peuvent avoir besoin. La plupart des chemins livrés à l'exploitation sans que cette précaution ait été prise, sont gênés dans le service et dépensent souvent des sommes considérables en acquisitions supplémentaires en raison même de la plus-value donnée aux terrains avoisinant les gares par l'ouverture du chemin de fer. Cette remarque s'applique principalement aux chemins de fer français, privés du droit d'expropriation par la jurisprudence, qui ne le leur reconnaît plus pour les lignes en exploitation [1].

7. — Passages à niveau. — Les passages à niveau doivent être projetés de manière à gêner le moins possible la circulation de la voie transversale au chemin de fer. On conservera donc entre ces traversées et les stations ou haltes, une longueur suffisante pour que l'arrêt des trains n'ap-

(1) DE LALLEAU et JOUSSELIN, *Traité de l'expropriation pour cause d'utilité publique*.

porte pas une interruption trop longue dans l'ouverture des barrières. Cette observation s'applique principalement aux stations où se font des manœuvres de composition et de décomposition de trains au moyen de locomotives.

8. — Observation. — On ne saurait trop recommander aux administrations de chemins de fer d'adopter les errements suivis par les grandes compagnies françaises en provoquant des conférences entre les divers services de la construction, de l'exploitation, de la voie, du matériel et de la traction avant l'adoption définitive des projets.

Les Compagnies créées nouvellement devront pendant la période de construction, s'assurer le concours d'ingénieurs compétents en matière d'exploitation de chemins de fer, en vue de se garantir soigneusement des inconvénients que les divers services de l'exploitation rencontrent souvent et que l'on éviterait en les appelant à la critique des projets avant leur exécution.

Cette observation a une grande importance aussi bien pour l'adoption des types de locomotives que pour les installations des voies des stations et autres dispositions dont le service de l'exploitation a souvent à souffrir.

CHAPITRE II

TERRASSEMENTS

§ I.

Travaux préparatoires

9. — Piquetage. — Le tracé d'un chemin étant définitivement arrêté sur le terrain, les plans et profils dressés dans les bureaux du service technique et approuvés par l'administration supérieure, il faut, avant ou après acquisition des terrains, mais préalablement à l'exécution des travaux, procéder au *piquetage* (1). Dans certains pays le piquetage doit précéder l'approbation des études par le contrôle (Chemins de fer de Porto-Rico, etc.).

(1) Avant de mettre les travaux en adjudication, la Compagnie d'Orléans fait appliquer sur le terrain le tracé définitif avec ses alignemeuts droits et courbes. Ce tracé est piqueté au moyen de piquets kilométriques, hectométriques et intermédiaires. La position de chaque piquet est représentée par son numéro; ainsi ce croquis indique que ce piquet est placé à 30 mètres de l'hectomètre 4 du kilomètre 25 ou à 25.430 mètres de l'origine du tracé. Chaque piquet indique un point du profil en long et l'emplacement d'un profil en travers. Ce tracé est l'application sur le terrain du profil en long qui doit être remis à l'entrepreneur pour l'exécution de ses travaux.

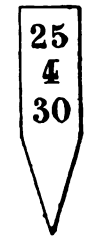


Fig. 1

C'est sur ce tracé: 1° Que les géomètres lèvent les plans parcellaires qui servent à l'expropriation des terrains.

2° Que les entrepreneurs se renseignent avant l'adjudication; qu'ils vérifient, s'ils le veulent, les profils en travers.

Quand un entrepreneur est sur le point de commencer ses travaux, on doit préalablement repérer le tracé, parce que tous les piquets dont il vient d'être parlé doivent disparaître. Cette opération consiste à fixer solidement, par des piquets les sommets d'angle, les extrémités des alignements droits ou courbes, les changements de déclivité, le tout conjointement avec l'entrepreneur.

Les tableaux de piquetage remis à l'entrepreneur n'ont pas d'autre but; l'opération ne peut servir pour l'exécution des terrassements, parce qu'il n'y est pas question des piquets des profils en travers, qui sont la base essentielle de l'exécution.

Cette opération est commencée par l'ingénieur de la section, avec le concours des agents spécialement chargés de diriger ou de surveiller la construction. Elle consiste à placer des piquets numérotés sur l'axe ou sur une parallèle à l'axe, aux extrémités de chaque alignement droit ou courbe, et aux points de changement de pente ou rampe.

Une bonne précaution à prendre, c'est de distinguer, par des formes particulières, les piquets se rapportant à des indications de natures différentes. Au chemin de fer central Suisse, par exemple, lors des travaux préparatoires, on plaçait sur l'axe deux piquets, l'un enfoncé au niveau du terrain naturel et servant de repère pour le nivellement, l'autre s'élevant de $0^m,30$ au-dessus du sol et portant le numéro d'ordre.

La tête des piquets avait une section circulaire pour les alignements droits, et carrée pour les courbes.

Dans les deux cas, un clou à haute tête marque exactement le point fixé au sommet des piquets d'axe.

Ces piquets ont de $0^m,08$ à $0^m,10$ de diamètre à leur tête avec une fiche de $0^m,50$ à $0^m,80$ selon la nature plus ou moins résistante du sol. Lorsque la cote des terrassements, celle que l'on désigne sous le nom de *cote rouge* varie de $0^m,50$ à 1 mètre, on place les piquets sur des buttes de terre, ou dans des trous préparés à cet effet ; leur sommet se trouve alors à la hauteur réelle des remblais ou des déblais. Sur les points où le projet donne une cote rouge plus grande, on établit la tête des piquets à un nombre exact de décimètres au-dessus ou au-dessous du niveau qu'ils doivent indiquer. Ces différences sont consignées dans un état de piquetage, que l'ingénieur remet à l'agent chargé de l'exécution des travaux.

Cet agent doit alors compléter lui-même le piquetage de la ligne en plaçant, au droit de chaque piquet mis par le chef de section, d'autres piquets pour marquer :

a. Les deux bords du couronnement des terrassements ;

b. La limite des déblais et des remblais.

Indépendamment de ces piquets, complétant les profils choisis par l'ingénieur, il faut en placer d'autres suivant des profils intermédiaires, dont l'espacement peut varier de 50 à 200 mètres dans les parties droites, mais ne doit point dépasser 50 mètres dans les courbes.

On commence par le piquetage des alignements droits, puis on trace les courbes au moyen de l'une des méthodes indiquées plus loin (10).

Le piquetage terminé, vérifié et accepté, il est généralement prescrit à l'entrepreneur des terrassements de profiler exactement la forme des remblais, au

moyen de gabarits en lattes clouées aux piquets placés de distance à autre (fig. 2), particulièrement dans les courbes.

L'ouverture et l'inclinaison des talus des tranchées sont également indiquées par des gabarits placés à la surface du terrain.

Ces dernières données sont déterminées par des coupures ou cheminées espacées de 5 mètres environ les unes des autres, et très exactement dressées, pour servir de direction aux ouvriers chargés de l'exécution des talus.

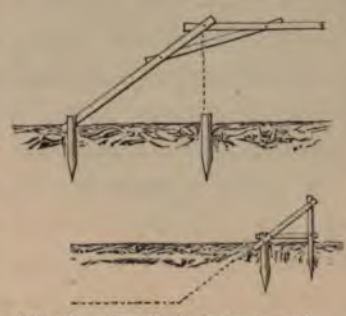


Fig. 2. — Profils de terrassements.

Il importe de veiller à la conservation des piquets et gabarits, et de remplacer immédiatement ceux qui disparaîtraient ou seraient dérangés de leur position normale.

10. — Tracé des courbes de raccordement. — Pour raccorder deux alignements droits consécutifs, on détermine leur point de rencontre, l'angle α qu'ils font entre eux, les points de tangence avec l'arc de cercle du rayon R qui doit les raccorder, enfin la longueur des tangentes formant le prolongement de ces alignements; cette longueur est donnée par la formule

$$x = \frac{R}{\text{tang } \frac{\alpha}{2}}$$

Pour piqueter l'arc de raccordement, l'opérateur a le choix entre divers moyens qui varient suivant la grandeur du rayon de la courbe, les difficultés du terrain, l'importance des dégâts que les travaux préparatoires pourraient occasionner aux propriétés voisines, la difficulté d'accès au point de rencontre des alignements droits à raccorder, etc.

I. — Soient A et B les points de tangence de deux alignements droits qui, prolongés, viennent se rencontrer en C (fig. 3).

On peut à l'aide du graphomètre, diviser l'angle formé par chaque tangente et la ligne qui réunirait les points de contact A, B, en un certain nombre de parties égales. On cherche alors le point d'intersection du rayon visuel dirigé suivant chaque division de l'un des angles avec le rayon visuel passant par la division correspondante de

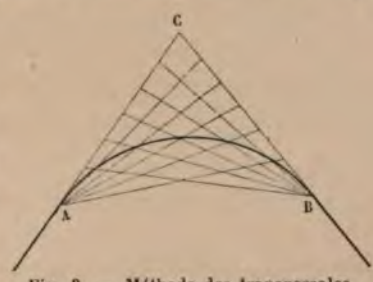


Fig. 3. — Méthode des transversales.

l'autre angle, mais en ordre inverse, le premier de la station B, par exemple, avec le dernier de la station A, le deuxième de la station B avec l'avant-dernier de la station A et ainsi de suite.

Ces intersections donneront autant de points de la courbe. Ce procédé demande le concours de deux opérateurs et d'un aide piquetant immédiatement le point d'intersection des rayons visuels.

II. — On détermine la distance du sommet C de l'angle α des tangentes au centre O de l'arc de raccordement, et, par suite, le sommet D de cet arc (fig. 4), par la formule

$$CD = \sqrt{\overline{AC}^2 + R^2} - R,$$

qui permet de fixer ainsi trois points très précis de la courbe A, D, B. On peut en déterminer deux autres, E et F, par le calcul suivant :

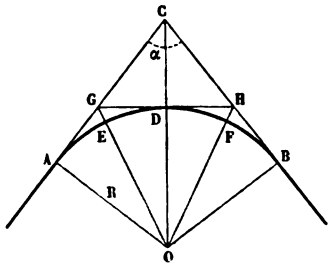


Fig. 4. — Méthode par le calcul des lignes trigonométriques.

$$\text{Angle AGD} = \text{angle BHD} = 90^\circ + \frac{\alpha}{2}.$$

$$AG = BH = R \operatorname{cotg} \frac{1}{2}\left(90^\circ + \frac{\alpha}{2}\right);$$

et enfin

$$GE = HF = \frac{R}{\sin \frac{1}{2}\left(90^\circ + \frac{\alpha}{2}\right)} - R.$$

III. — On détermine par le calcul II la position du sommet D de la courbe ce qui donne trois points de l'arc de cercle. Pour en trouver d'autres, on pourra, sur le plan, élever des perpendiculaires à la tangente, et rapporter sur le terrain les longueurs données par le plan (fig. 5), on les vérifiera au besoin par la formule

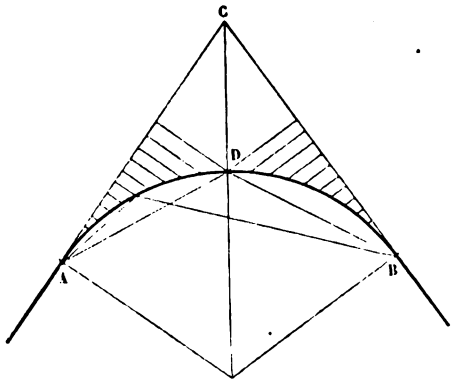


Fig. 5.— Tracé par les ordonnées aux tangentes.

$$x^2 + (R - y)^2 = R^2$$

et quand ils seront rapportés sur le terrain, on sera certain que tous les points appartiennent bien à la courbe, si les angles formés par les cordes réunissant chaque point aux points A et B sont tous égaux à l'angle au sommet ADB.

Cette méthode est expéditive, mais elle n'est pas complètement rigoureuse.

IV. — Quand le sommet de l'angle des tangentes n'est pas accessible, on pourra construire la courbe au moyen d'ordonnées perpendiculaires à la corde AB qui joint les points de tangence, mesurées à l'échelle du plan (fig. 6) et rapportées sur le terrain. Ce procédé comme le précédent, n'est qu'approximatif.

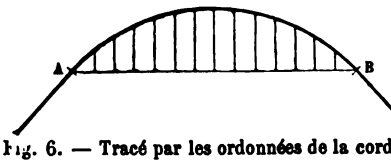


Fig. 6. — Tracé par les ordonnées de la corde.

V. — La longueur des tangentes étant donnée par le calcul, on peut partager le rayon en un certain nombre de parties égales x (fig. 7) et déterminer la longueur y par la relation

$$y = \sqrt{x\,(2\,\mathrm{R} - x)}$$

Par suite, un certain nombre de valeurs de y étant calculées à l'avance, rien n'est plus facile que de fixer sur le terrain les points de la courbe, en portant sur les tangentes les longueurs Bm trouvées, élevant aux points m, m... des perpendiculaires à la tangente, et prenant sur ces perpendiculaires les longueurs x, $2x$, $3x$..., qui ont servi à déterminer les valeurs correspondantes de y.

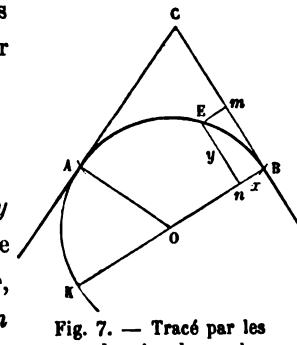


Fig. 7. — Tracé par les coordonnées du cercle.

VI. — *Méthode anglaise,* — A partir du point de tangence A (fig. 8), porter deux longueurs égales Aa, ab; du point a comme centre, avec ab pour rayon décrire un arc de cercle; prendre bm à l'échelle du plan: le point m doit appartenir à la courbe cherchée; prolonger la droite am de $md =$ Ab; du point c, milieu de md, comme centre, décrire, avec cd pour rayon, un arc de cercle sur lequel on mesure $dn = bm$; n est un deuxième point de la courbe, et ainsi de suite jusqu'à l'autre tangente. Si la courbe sur le terrain ne rejoint pas le point B, il faut recommencer l'opération, en augmentant ou diminuant bm d'une petite quantité.

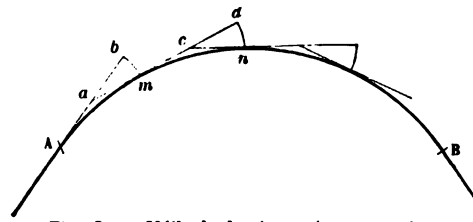


Fig. 8. — Méthode des tangentes successives.

VII. — *Méthode des sécantes successives* (1). — Soit A (fig. 9) le point

(1) Voir la notice de M. Gayrard : *Mémoires et Compte Rendu* des travaux de la Société des Ingénieurs civils de France, 1843, Plessner, méthode de M. Stoll, p. 10.

de tangence d'un alignement droit et de la courbe de raccordement ; il s'agit d'abord de déterminer un deuxième point de cette courbe A cet effet, prenons sur la tangente une longueur arbitraire $Ab = c$, mais qui varie avec le rayon de la courbe (Voir le tableau ci-dessous) ; sur la perpendiculaire bm prenons

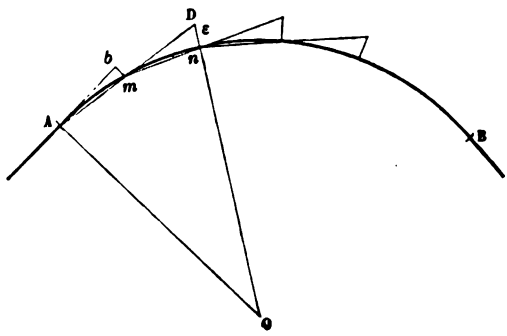


Fig. 9. — Méthode des sécantes successives. — 1er procédé

$$bm = \frac{1}{2}\,\varepsilon = \frac{c^2}{2\,R}.$$

m sera un second point de la courbe ; prolongeons Am d'une longueur égale mD ; prenons sur la direction Dn, marquée par l'angle D d'un gabarit, une longueur $Dn = \varepsilon$, quantité donnée par le tableau ; le point n est sur la courbe. Puis on opérera sur m et n comme on a opéré sur A et m, et ainsi de suite.

Ce procédé est d'autant plus exact, que le rayon de la courbe est plus grand et la longueur c plus petite ; il est facile de voir que $Dn = \varepsilon = \frac{c^2}{R}$.

Nous avons étendu le tableau que donne M. G. Gayrard dans son mémoire, en recherchant les valeurs de ε pour les différents rayons qui peuvent se présenter dans la pratique, et en prenant pour valeur de c, des longueurs de 5, 10 et 20 mètres, suivant que les rayons des courbes seront compris entre 30 et 200 mètres, 250 et 750 mètres, 800 et 10.000 mètres.

Tableau des valeurs de $\varepsilon = \frac{c^2}{R}$ *pour des courbes de rayons compris entre 30 et 10.000 mètres*

R	ε pour c = 5m	R	ε pour c=10m	R	ε pour c=20m	R	ε pour c=20m	R	ε pour c=20m	R	ε pour c=20m
m.	m/m	m.	m/m	m.	m/m	m.	m/m	m.	m/m	m.	m/m
30	833	250	400	800	500	1.350	297	1.900	210	2.900	138
40	625	300	333	850	470	1.400	286	1.950	205	3.000	133
50	500	350	285	900	444	1.450	276	2 000	200	3.500	114
60	416	400	250	950	420	1.500	266	2.100	190	4.000	100
70	357	450	222	1.000	400	1.550	258	2.200	180	4.500	89
80	312	500	200	1.050	381	1.600	250	2.300	174	5.000	80
90	277	550	182	1.100	364	1.650	242	2.400	167	6.000	66
100	250	600	166	1.150	347	1.700	235	2.500	160	7.000	57
120	208	650	154	1.200	333	1.750	229	2.600	154	8.000	50
140	178	700	143	1.250	320	1.800	222	2 700	150	9.000	44
160	156	750	133	1.300	308	1.850	216	2.800	143	10.000	40
180	138										
200	125										

VIII. — 2° *Procédé par la méthode des sécantes successives* (1). — Dans un pays très accidenté il est avantageux de pouvoir se servir des lignes auxiliaires qu'on a déjà tracées pour rapporter les courbes aux alignements qu'elles raccordent.

Soit A l'origine de la courbe (fig. 10) prenons AD arbitrairement, dans le triangle rectangle AOD nous connaissons AO = R et AD, nous pouvons déterminer l'hypoténuse DO et l'angle aigu ADO. — Soit maintenant une autre ligne auxiliaire DF, abaissons du centre O une perpendiculaire OE sur cette ligne auxiliaire, nous formons un nouveau triangle rectangle DEO dont nous connaissons l'hypoténuse DO et l'angle aigu EDO qui est la différence des angles EDA et ADO. — La différence de longueur entre la perpendiculaire OE et le rayon correspondant donne le point de contact du cercle et d'une tangente parallèle à DF. Le côté DE donne la distance du sommet D à l'ordonnée menée au point de contact

Fig. 10. — 2° Méthode des sécantes successives.

(1) Voir *Levés de plans à la Stadia* par I. Moinot, ingénieur civil.

de la parallèle. On avance ainsi à l'aide des triangles rectangles successifs EFO, FGO, HGO, etc., en utilisant les lignes auxiliaires.

11. -- Correction des courbes de raccordement. — Ces modes de tracé doivent mener la courbe d'un point de tangence à l'autre; mais l'imperfection des instruments et des opérations partielles, les accidents de terrain, causent souvent de légères déviations qui reportent le passage de la courbe à côté du deuxième point de contact. On peut faire les corrections à la courbe au moyen de calculs assez longs, indiqués par M. Gayrard. Cependant quand l'erreur commise est considérable, si, par exemple, le point d'arrivée tombe à une distance $X > \frac{R}{500}$ du second alignement (fig. 11), il y a lieu de reprendre le tracé en opérant avec plus de soin; si l'erreur n'atteint pas $\frac{R}{500}$, on peut corriger la courbe de la manière suivante: diviser la longueur X, qui est la somme des erreurs partielles accumulées sur le dernier point trouvé de la courbe, en autant de parties égales qu'il y a eu de longueurs *c* sur l'arc décrit; reporter à chaque division *a'*, *b'*, *c'*... et, suivant une direction normale à la courbe, une quantité représentant autant de fractions de la valeur X qu'il y a eu de stations jusqu'au point considéré; si par exemple, on a porté la longueur *c* dix fois de A en *l'*, et que $X = ll' = 0^m,80$, on aura $\frac{X}{10} = 0^m,08$; alors on prendra $KK' = 0^m,72$, $hh' = 0^m,64$... $aa' = 0^m,08$.

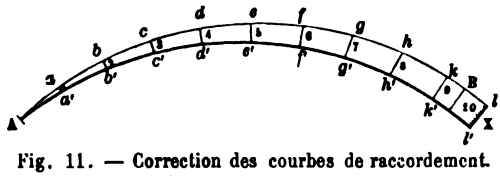


Fig. 11. — Correction des courbes de raccordement.

Les points *a*, *b*, *c*..., appartiendront à la courbe cherchée. On s'assure de l'exactitude de la courbe ainsi tracée, en portant une corde d'une certaine longueur sur divers points de la courbe, et en constatant que les arcs sous-tendus ont partout la même flèche.

12. — Raccordement parabolique ou à rayons variables. — Pendant longtemps le raccordement des alignements droits s'est effectué à l'aide d'arcs de cercle.

Quelques ingénieurs recommandent et appliquent des courbes se rapprochant de la forme parabolique ou des courbes en anse de panier, à l'effet de ménager, au point de vue de la sécurité et de la conservation du matériel, la transition du passage d'un alignement droit à une courbe.

L'examen de cette question trouvera sa place au § IV du chapitre VII relatif à la pose de la voie (241-249).

§ II.

Exécution des tranchées et remblais.

13. — Mouvement des terres. — La construction d'une voie de communication d'une certaine étendue nécessite le percement de tranchées plus ou moins profondes et la formation de remblais, dont l'importance varie avec les conditions de pente et de courbure de la ligne ainsi qu'avec les accidents naturels du sol.

En général, on cherche, en étudiant le projet, à compenser autant que possible les remblais et les déblais ; mais dans certains cas, on est obligé d'avoir recours à des emprunts (1) et à des dépôts.

Quand il s'agit de faire un choix entre ces divers systèmes, la question des dépenses tranche presque toujours la difficulté.

Par le mode de compensation des remblais et des déblais, les frais de mouvement des terres peuvent devenir très considérables, puisqu'ils croissent avec les distances de transport. La durée de la construction est aussi plus longue que par voie de prélèvements et dépôts ; mais dans cette dernière hypothèse, il faut tenir compte des frais d'acquisition des terrains supplémentaires, ainsi que des travaux d'entretien et d'assainissement des fouilles et dépôts.

Le passage d'un chemin de fer dans une localité dérange souvent l'équilibre des terrains qu'il touche ; aussi avant de fixer d'une manière absolue le tracé d'une ligne, doit-on prendre, au moyen de sondages judicieusement répartis, une parfaite connaissance et de la nature et de l'inclinaison des couches de terrains que la ligne pourra rencontrer.

Il faut éviter, autant que possible, les petites tranchées de 1 à 2 mètres de profondeur, parce qu'elles sont souvent très humides, fréquemment exposées aux encombrements de neige, en un mot, parce qu'elles augmentent les difficultés et les dépenses normales d'exploitation. Dans les tranchées profondes, l'ingénieur s'efforcera de ne pas recouper les couches du sous-sol dans une direction qui pourrait en provoquer le glissement. C'est là une cause de frais de consolidation et d'entretien, parfois très considérables, et d'entraves à la marche des trains.

(1) Ce terme bien qu'employé généralement est impropre car il laisse supposer une restitution ultérieure, nous nous servirons à sa place du mot *prélèvements*.

Quand le chemin se tient au niveau du terrain naturel, il est convenable, pour préserver la voie de l'humidité du sol, de l'établir sur un petit remblai de $0^m,40$ à $0^m,60$ de hauteur, formé au moyen des fouilles des fossés latéraux.

14. — Tranchées. — Le percement d'une tranchée s'effectue par un ou plusieurs étages de déblai, suivant sa profondeur. La *cunette* étant creusée d'abord et les terres retroussées en cavaliers, pour permettre l'établissement des moyens de transport, on attaque la tranchée sur toute sa largeur. Dans les tranchées à plusieurs étages, on n'installe un nouveau chantier qu'au moment où celui qui le précède immédiatement au-dessus a pris une avance suffisante, en réservant, d'ailleurs, des plans inclinés, pour raccorder les étages supérieurs avec le fond de la tranchée.

Dans certains cas, on a creusé les tranchées par couches horizontales successives, en profilant immédiatement les talus de haut en bas.

On emploie aussi un procédé d'abattage très économique, celui du havage ou des mines sèches. On ouvre dans le front d'attaque d'un déblai et normalement, des cheminées espacées de 5 à 10 mètres suivant la consistance du terrain, parallèles entre elles et ayant $0^m,50$ à $0^m,60$ de largeur sur une profondeur de 2 à 3 mètres (fig. 12).

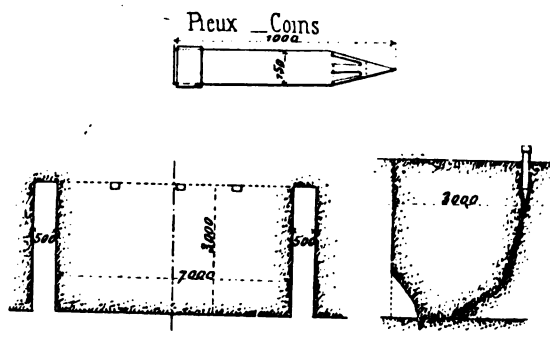


Fig. 12. — Exécution des tranchées par Havage.

Ces cheminées isolent un massif qu'il s'agit de faire ébouler en masse. A cet effet, on sous-cave sur toute sa longueur ce massif ainsi isolé, puis on chasse à coups de masse sur une ligne, qui joint les extrémités des cheminées, des pieux-coins en fer ou en bois frettés et sabottés. Sous l'action de ces pieux le massif se détache et vient s'écrouler en avant du front d'attaque.

Ce procédé a l'inconvénient de faire courir le risque d'entamer et d'ébouler la surface des talus. Il peut d'ailleurs être d'une application dangereuse pour la vie des ouvriers; une surveillance sévère est donc de toute rigueur. Il

réussit très bien dans les terrains à la pioche, homogènes, terre végétale, argile compacte, conglomérats, etc.

Dans l'exécution des tranchées importantes on emploie quelquefois des excavateurs à vapeur, mais pour obtenir un résultat économique il faut qu'on puisse les utiliser d'une manière régulière et sans interruption.

15. — Remblais. — Les remblais doivent être composés de matériaux pouvant prendre une certaine liaison entre eux et avec le sol sur lequel ils reposent, résister aux influences atmosphériques, et conserver le profil qui leur a été assigné.

On forme les remblais avec les terres extraites, soit des tranchées voisines, soit de tranchées auxiliaires situées à côté de la ligne et qui portent le nom de chambres d'emprunts ou de prélèvements. Lorsque les frais de transport sont trop considérables ou que les terres extraites des tranchées sont de mauvaise qualité on emploie le système des emprunts latéraux. Au contraire lorsque les terres extraites des tranchées sont en excès on les dépose le long de la voie. Ces dépôts portent le nom de cavaliers.

Les remblais s'exécutent sur toute leur largeur à la fois ; il faut éviter le rechargement sur les talus, car, généralement, les reprises ne font pas *corps* avec le noyau. Pour éviter le grave inconvénient des recharges, on fait bien de tenir les remblais un peu *gras*, c'est-à-dire de leur donner une petite augmentation de dimensions en largeur et en hauteur, excédant qu'il est facile d'enlever lors du dressement de la plate-forme et des talus, et que l'on peut d'ailleurs calculer en tenant compte du tassement.

Si les remblais ont peu de longueur, les transports se font à la brouette ou au tombereau, roulant sur des voies en madriers ou en fers posés à plat ; quand ils atteignent une certaine importance, on se sert de vagonnets ou de vagons de terrassement, les limites d'emploi de ces divers modes de transport sont fixées par la comparaison des résultats que donnent les *formules de transport* (annexe N).

Les deux premiers modes présentent l'avantage de former le remblai au moyen de couches horizontales, dont le tassement est favorisé par la lenteur des travaux, la circulation des véhicules et les influences atmosphériques.

L'épaisseur des couches peut varier dans des limites assez étendues : ainsi en France, la Compagnie du Midi fixait cette épaisseur maximum à $0^m,80$: la Compagnie de l'Est à $0^m,20$, $0^m,30$ et $0^m,40$, suivant qu'on employait la brouette, le tombereau ou le vagonnet ; au Chemin Central Suisse, la partie

supérieure du remblai, jusqu'à $1^m,50$ en-dessous de la plate-forme, devait être formée par couches de $0^m,30$.

On se sert avantageusement pour les transports de voies portatives à faible écartement sur lesquels circulent des vagonnets culbuteurs.

Quand on emploie des vagons de terrassement, le *déchargement* se fait à l'*anglaise*, ou avec *pont de décharge*.

Par le premier de ces deux systèmes, le remblai se compose de tranches juxtaposées et inclinées sous l'angle du talus naturel des terres; il est donc exposé à subir des tassements ultérieurs très considérables. Cependant le déchargement à l'*anglaise* est le plus souvent employé, comme plus expéditif et moins coûteux que l'autre ; il exige de l'ouvrier qui en fait la manœuvre, beaucoup de prudence, de dextérité et de sang-froid.

L'emploi du *pont de décharge* permet de donner aux couches successives une plus grande longueur et, par conséquent, une moindre inclinaison, mais on ne peut économiquement l'appliquer que pour l'exécution de travaux très considérables.

En 1868 la conférence de Munich avait résumé en ces termes les réponses que les divers chemins de fer d'Allemagne avaient faites sur la question suivante :

Quelles sont les meilleures dispositions de vagons de déchargement pour l'exécution des terrassements sur chemins provisoires ?

« D'après les renseignements fournis, on emploie, pour l'exécution de terrassements importants sur voies provisoires des vagons basculant en avant ou de côté, avec ou sans pont de décharge; des vagons ordinaires avec des côtés bas tombants. Ce sont les circonstances locales qui décident du choix à faire entre ces différents moyens et l'occasion plus ou moins favorable de trouver du vieux matériel disponible. En tous cas, on peut recommander de donner aux vagons de terrassement une capacité d'au moins 2 mètres cubes ».

Nous reviendrons ultérieurement sur cette question.

16. — Précautions à prendre. — Un remblai ne possède une assiette convenable que lorsqu'il repose sur un sol nettoyé avec soin : il faut enlever les souches d'arbres et de haies, les débris végétaux, les racines; en débarrasser également les terres devant composer le remblai. On se contente, dans les prairies, de labourer le sol à la bèche ou à la charrue, et d'y laisser les gazons retournés; il faut écarter les blocs de pierre les uns des autres, briser les mottes ou pelottes de terre, principalement pendant les gelées, afin de réduire le volume des vides et l'effet du tassement. Les résultats de ce

phénomène sont aussi variables que la nature des matériaux constituant les remblais, et les circonstances de leur formation. Pour parer aux éventualités on fait bien d'étudier les effets du tassement pendant la construction même, et de donner alors au remblai la surélévation correspondant au tassement probable de l'ensemble, calculé d'après les premières observations.

Les pluies qui surviennent pendant la construction peuvent aussi déterminer des affaissements et des ravinements, surtout vers les talus ; pour obvier à ces inconvénients, la prudence conseille de ménager une surépaisseur au bord des tranchées et des remblais. Aux approches des ouvrages d'art, et afin d'éviter les mouvements qui pourraient porter préjudice à la solidité des ouvrages, les remblais sont exécutés, sur une longueur au moins double de leur hauteur à partir des murs extrêmes, avec des terres maigres, graveleuses, perméables. Si c'est possible, on les sépare de l'ouvrage par des blocailles et enrochements. Dans ces cas spéciaux, les terres sont pilonnées, arrosées par couches de $0^m,15$ d'épaisseur, et disposées simultanément de chaque côté de l'ouvrage, pour ne pas occasionner de poussées inégales.

Quand les remblais reposent sur un terrain présentant une certaine déclivité, on entaille le sol en gradins de $0^m,50$ à 1 mètre de hauteur, le plan des faces supérieures des gradins perpendiculaire à la surface du sol, afin de s'opposer au glissement de la masse rapportée ; plusieurs éboulements de remblais n'ont pas eu d'autre cause que l'oubli de cette précaution (32).

Dans certains cas il peut être nécessaire d'employer en remblai du sable fin et sec, qui, par sa nature même, est nécessairement instable et facilement déplacé par le vent.

On doit alors recouvrir le remblai d'une chemise en terre qui le garantit généralement de toutes détériorations.

Lorsque les remblais sont soumis, en cours d'exécution, aux influences de cours d'eau qui peuvent les affouiller, on doit prendre des précautions toutes spéciales. A ce sujet, nous appelons l'attention des constructeurs sur le système de défense que M. W. Pressel, ingénieur attaché aux Chemins de fer du Sud de l'Autriche, a dû adopter lors de la construction de la ligne Barcs-Kanizsa, le long de la Drave, au pied des contreforts de Legrad (1867-1868). Sur la section Barcs-Kereztur, l'exécution des remblais exposés au contact de la rivière était précédée par l'établissement d'un batardeau, formé de pieux enfoncés sur la ligne choisie pour le pied du talus baigné. A ces pieux, on fixait provisoirement des arbres branchus dont les rameaux arrêtaient le premier choc du courant. Contre ces pieux, on échouait dans l'eau trois gros boudins de fascines remplis de cailloux bien nettoyés qui servaient

alors de base au talus. Le remblai effectué en deux reprises s'avançait alors, protégé par le batardeau, contre lequel on amassait des terres et graviers de bonne qualité. Quand la première partie du remblai, celle de droite, attenante à la rivière, était ainsi consolidée, la seconde partie du remblai, celle de gauche, s'avançait à son tour. Formée de glaise et autres matières de mauvaise qualité, elle s'appuyait à gauche contre les contreforts du sol naturel, à droite contre la première partie du remblai qui la préservait du contact des eaux.

Le parachèvement de la défense du remblai par des perrés (33) s'est effectué ultérieurement à l'aide du chemin de fer lui-même qui a permis de transporter et d'amener à pied-d'œuvre les pierres nécessaires à ce travail. Si ce revêtement avait dû être fait lors de la construction du chemin, il en aurait notablement retardé l'avancement et augmenté le prix de revient dans d'énormes proportions, les pierres faisant complètement défaut aux lieux d'emploi.

Les talus étant dressés avec soin, c'est-à-dire présentant des surfaces et des arêtes régulières, avec l'inclinaison qui leur convient (17), on les recouvre généralement d'une chemise de $0^m,10$ à $0^m,15$ de terre végétale, déposée par tranches horizontales de $0^m,20$ de hauteur, pilonnées à la dame plate (fig. 13).

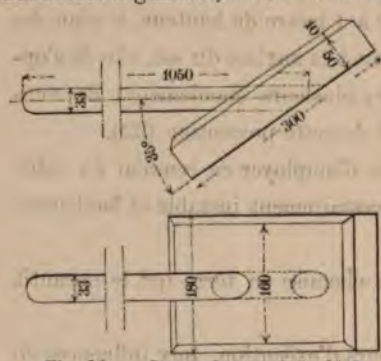


Fig. 13. — Dame plate en bois 1/10.

Quand le glissement de cette chemise est à craindre, on prend la précaution de tailler en gradins la face du talus (23). Dans ce but et avant de commencer les terrassements, toute la terre végétale provenant des déblais ou du sol d'assise des remblais, est relevée sur les côtés du chemin et conservée pour servir plus tard au recouvrement des talus. On met aussi de côté les gazons découpés en prismes, et tous les matériaux que l'on croit pouvoir utiliser ultérieurement.

Bien qu'une tranchée soit ouverte dans la roche solide et inaltérable à l'air, il faut encore avoir soin de sonder et de faire descendre toutes les parties ébranlées qui pourraient se détacher après la mise en exploitation. Si la roche ne peut pas être taillée à pic, on se contente de former les talus par arrachements en redans ou échelons.

Nous décrirons plus loin (Chapitre IV, § I) les procédés suivis pour ensemencer, gazonner et planter les talus.

17. — Inclinaison des talus. — Il est impossible de tracer des règles générales pour fixer l'inclinaison des talus qui, dépendant essentiellement de la nature des terrains, peut se trouver comprise entre 0° et 90°, selon le cas.

Les données suivantes se rencontrent le plus généralement dans les constructions :

NATURE DES TERRAINS	INCLINAISON		
	Hauteur	Base	Degrés
Roches non gélives	quelconque	0	90°
Roches tendres	3	1	71° à 72°
Sables et graviers	1 1/2	1	56° à 57°
Terres franches et légères	1	1	45°
Argiles	1/2	1	26° à 27°

Cette inclinaison varie aussi, à égale qualité de terrain, avec la profondeur des tranchées ou la hauteur des remblais. Sur certaines lignes, Hainaut et Flandres (Belgique) par exemple, on a réglé l'inclinaison des talus d'après la distance verticale qui sépare la plate-forme de la surface du sol.

Ainsi de 1 mètre à 4 mètres les talus sont inclinés à $\frac{1}{1}$
— 4 — 8 — — — $\frac{5}{4}$
— 8 — et au-dessus — — $\frac{3}{2}$

Le premier chiffre énoncé correspond à la base et le second à la hauteur.

Sur d'autres lignes, on a adopté, en principe, des inclinaisons de $\frac{1}{1}$ pour les talus des tranchées et de $\frac{3}{2}$ pour ceux des remblais [Nord, Est (France) Hanovre] ; ailleurs, aux chemins central et sud-est Suisse, notamment, cette dernière inclinaison a été appliquée à tous les talus.

En Prusse, on prend pour règle de donner aux talus des remblais, en argile ou en terre sablonneuse, 1 $\frac{1}{2}$ sur 1 ; à ceux en argile compacte, 1 sur 1 ; en pierre ou en roche, 1 sur 1 $\frac{1}{4}$; enfin aux talus des tranchées, l'inclinaison la plus forte que puisse comporter la nature du terrain entamé et la sécurité de la circulation. Certains remblais, établis sur des terrains très peu résistants, ont reçu des talus de 3 et 4 de base pour 1 de hauteur.

En général, l'inclinaison à 45° n'est admissible pour les glaises ou les terres éboulées que lorsqu'on les abrite sous des revêtements en pierre sèche. Avec la chemise en terre, qui est préférable sous tous les rapports il est bon de dresser les talus des tranchées à $1\frac{1}{2}$ au moins sur 1.

On rencontre quelquefois des terrains qui, au premier abord, paraissent devoir se tenir sous une inclinaison très prononcée, mais dont la surface est promptement altérée par les influences atmosphériques. Il y en a d'autres enfin, qui n'admettent aucune inclinaison et conduisent à de grands travaux de consolidation ; encore arrive-t-il souvent des accidents, des éboulements qui envahissent la voie et occasionnent des frais de réparation beaucoup plus élevés que ceux exigés par les précautions de premier établissement. Chaque cas particulier exige donc un examen préalable des exemples fournis par la localité, une étude attentive de la nature des talus et des dispositions à y appliquer.

18. — Consolidation des remblais. — Dans les terrains très accidentés, on se trouve quelquefois en présence de remblais très élevés qui doivent être exécutés avec les terres éboulées ou de mauvaise qualité qui exigent un talus peu incliné, on arrive ainsi à un cube de terre très important, qui demandera des travaux ultérieurs d'assainissement.

Dans ce cas, il convient d'examiner s'il n'y a pas lieu de substituer à une partie du remblai un mur de soutènement.

D'autres fois, les talus des remblais sont baignés par les eaux de torrents à régime irrégulier et il convient de les garantir contre leur action destructrice.

Si les remblais ont peu de hauteur, si le régime des eaux est assez régulier et ne dépasse pas certaines limites, enfin si les matériaux qui les composent ne doivent pas être fâcheusement influencés par les eaux, on se contente d'un perré en pierre sèche qui suffit dans bien des cas.

Mais au contraire, s'il s'agit de remblais de grande hauteur ravinés par des eaux d'un torrent à crues rapides et importantes, il convient de garantir les pieds des remblais par un ouvrage très soigné.

Les murs de soutènement généralement employés imposent aux Compagnies une dépense très élevée qui peut, dans certains cas, être réduite sans inconvénient.

Notre savant maître Boutillier a proposé et fait approuver par le service du contrôle, pour la traversée de la Chifa (ligne de Blidah à Berrouaghia) les types de murs de soutènement représentés par les figures 14 à 19.

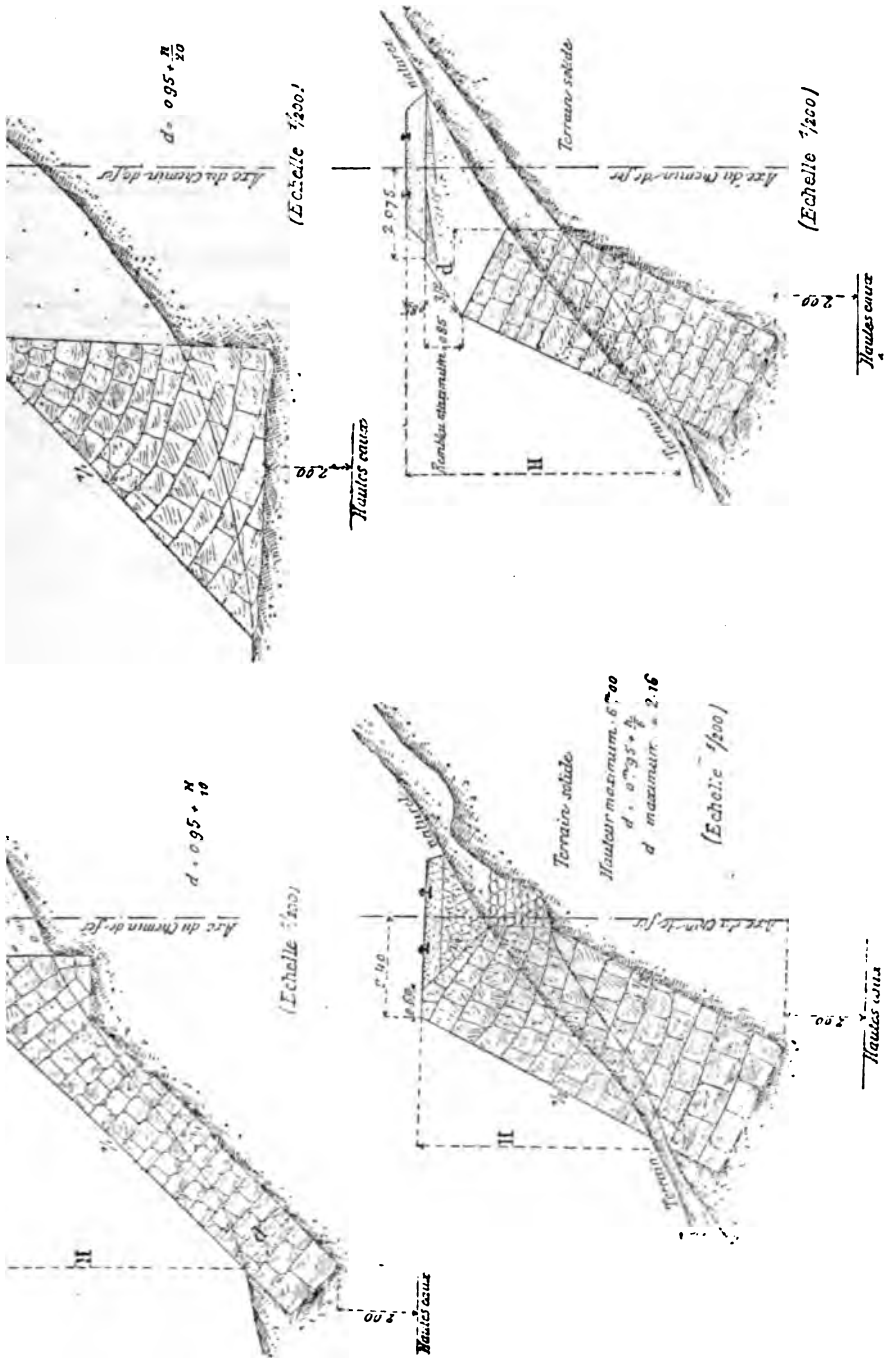
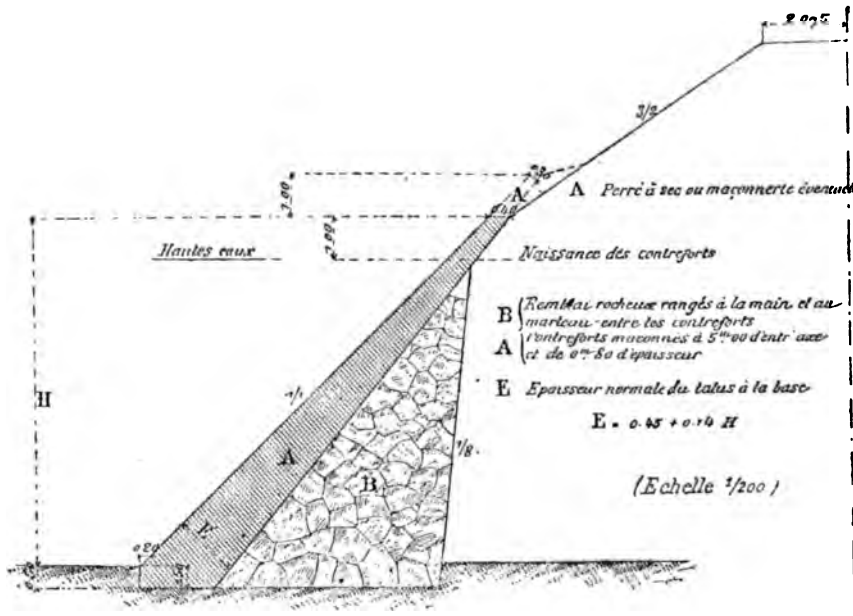


Fig. n° 14 à 17. — Types de murs de soutènement



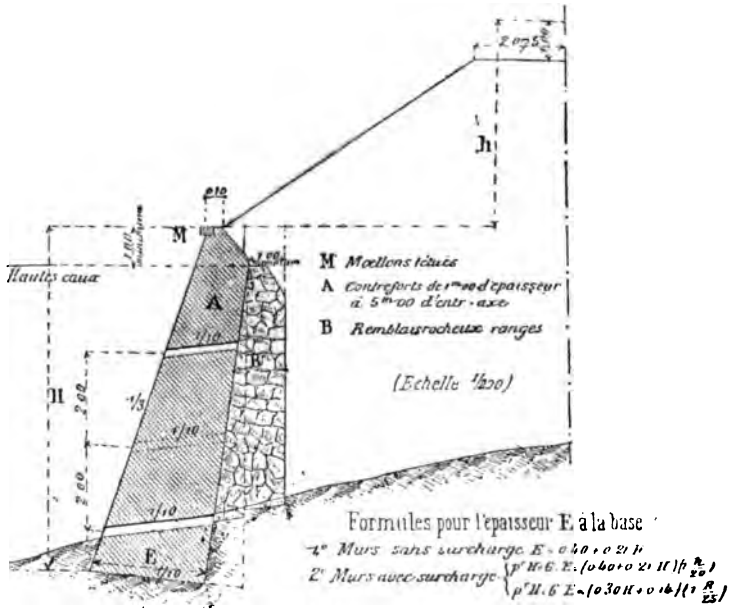


Fig. 18-19. — Types de murs de soutènement.

Les murs et perrés maçonnés sont fondés sur la roche compacte dans laquelle ils sont encastrés d'au moins 0m,30, le terrain naturel derrière le

mur est taillé en gradins pour recevoir les remblais rocheux ou les terres pilonnées. L'épaisseur du remblai rocheux était de au moins 1 mètre.

Des barbacanes de 10/25 disposées en quinconce ont été ménagées de $2^m,50$ en $2^m,50$ dans le sens de la longueur du mur et de 2 mètres en 2 mètres dans le sens de la hauteur.

19. — Dressement de la plate-forme. — Pour faciliter les écoulements des eaux de pluie, on dispose la plate-forme des remblais en pente de $0^m,03$ environ de l'axe vers les côtés du chemin. Quelques ingénieurs, toutefois, ayant égard à l'âge des remblais, donnent, pour prévenir l'effet des tassements, plus marqué aux bords que vers le centre, une surélévation aux arêtes extérieures de la plate-forme. Mais à notre avis, le dressement en dos d'âne de la plate-forme ne saurait être trop prononcé; par conséquent il n'y a pas lieu d'appliquer cette surélévation. Le mélange du ballast et de la terre étant d'un effet très fâcheux pour l'entretien de la voie, on fera bien de damer la plate-forme et de la dresser soigneusement avant de répandre le ballast.

En tranchée, le projet doit prévoir des fossés aussi profonds que possible. Le plafond doit avoir une pente minimum de $0^m,0005$. Il est également utile d'y dresser la couronne en pente de chaque côté de l'axe et de ne laisser ni creux ni saillie en dessus ou en dessous du plan fixé par le profil. Dans les terrains de rocher, les cavités produites par les coups de mine seront remplies avec des éclats de pierre.

Nous indiquerons au paragraphe V de ce chapitre les précautions à prendre pour préserver la voie de l'action des eaux.

20. — Dépôts et prélèvements. — Les prélèvements pratiqués à proximité du chemin de fer ou des voies publiques doivent laisser entre leur arête supérieure et la limite du terrain acquis pour le chemin de fer, ou le pied des talus des autres chemins, une distance de 1 mètre au minimum.

Le talus le plus voisin de la voie aura une inclinaison de 3 de base pour 1 de hauteur; les autres talus, 1 de base au moins pour 1 de hauteur.

Les talus des dépôts se règlent comme ceux des remblais du chemin de fer.

Quand les chambres d'emprunt ont une grande longueur, on les divise souvent par des massifs transversaux ménagés de distance en distance.

Il y a de nombreux exemples de chambres d'emprunt où les eaux s'accumulent et transforment la fouille en marais insalubre. Nous rappelons plus loin (34) les prescriptions administratives qui se rapportent à ce cas. Afin

d'en éviter l'application, le service de la construction fera bien de prendre, dès l'abord, toutes les mesures nécessaires pour l'écoulement des eaux.

En traitant de l'entretien des fouilles d'emprunts, nous indiquons également le moyen de les utiliser comme source de revenu pour l'administration du chemin de fer (34).

Lorsque les terrains ont une faible valeur, on n'hésite pas à opérer les terrassements de la ligne à l'aide de dépôts et de prélèvements latéraux, en économisant ainsi sur les transports.

Ce procédé est tout indiqué dans les pays où les concessions de chemin de fer accordent gratuitement aux concessionnaires une bande de terrain de chaque côté de l'axe de la ligne.

§ III.

Entretien des tranchées.

21. — Nature des terrains. — Les travaux d'entretien, d'assainissement et de consolidation des tranchées dépendent beaucoup de la nature du terrain traversé.

Quand le terrain est solide, résistant, l'entretien se borne à de menus travaux ordinaires.

Si la tranchée est creusée dans une terre meuble, des sables, des roches désagrégées, on prendra, lors de l'établissement de la ligne, quelques mesures préventives contre l'éboulement des talus. Ces mesures nécessitent des travaux de consolidation quelquefois considérables, mais qui, une fois terminés, réduisent l'entretien à des frais très minimes.

Comme nous l'avons dit plus haut, on rencontre des terrains paraissant, au premier abord, posséder tous les caractères d'inaltérabilité désirables, mais qui, sous l'action prolongée des influences atmosphériques, subissent des modifications, des détériorations de surface, auxquelles il faut remédier promptement pour prévenir des accidents plus graves.

Les indications suivantes suffisent dans les différents cas qui peuvent se présenter.

22. — Terrains de bonne qualité. — Ces terrains qui résistent

aux actions atmosphériques, peuvent être simplement ravinés par les eaux extérieures ou déplacés par l'effet de causes intérieures.

Dans le premier cas, pour les préserver, il suffit :

— De recueillir et faire écouler les eaux de la surface ;

— De semer et planter les talus préalablement réglés ;

Du côté par lequel arrivent les eaux de surface, on établit un fossé avec revers (fig. 20), en lui donnant une pente en long de $0^m,01$ au moins. Selon que la disposition du terrain le permet on conduit les eaux, soit en dehors de la tranchée par une pente continue ; soit dans les fossés de la tranchée, au moyen de cuvettes rampantes, en gazon, en maçonnerie ou en bois.

Fig. 20. — Fossé en amont d'un talus.

Si le terrain est très perméable, il sera prudent de garnir le fond du fossé d'un corroi en argile sablonneuse pour prévenir les infiltrations.

Dans les tranchées à banquettes, il faut donner à celles-ci un revers incliné du côté des terres (fig. 21), assurer l'écoulement des eaux par des pentes longitudinales de $0^m,02$ au moins et des cuvettes rampantes au besoin, utiliser autant que possible celles des fossés de ceinture.

Fig. 21.— Rigole en banquette.

Il faut par des soins assidus, tenir toujours les fossés et cuvettes parfaitement propres, afin d'éviter la formation des flaques d'eau, plus nuisibles encore que l'écoulement naturel des eaux de pluie.

Les banquettes doivent être entretenues avec le même soin, et pour rendre cet entretien plus facile, on les recouvre avec des gazons posés à plat, ou avec un pavage en moellons, enfin on y provoque le développement de plantes vivaces.

23. — Terrains glaiseux et argileux. — Les mêmes moyens doivent être appliqués quand les terres des tranchées sont de nature un peu fluente comme les argiles ordinaires. Il est encore plus nécessaire alors d'entretenir en parfait état les écoulements établis pour empêcher les eaux de s'arrêter et de réduire en bouillie les terres voisines.

Quand la tranchée est ouverte dans des terres très argileuses ou glaiseuses homogènes, les précautions qui précèdent sont indispensables mais elles ne suffisent plus.

Sous l'action du vent et du soleil, les terres de la surface perdent leur humidité naturelle et se fendillent en se desséchant ; puis quand viennent les pluies, elles absorbent par ces fentes plus ou moins d'eau, et se fendent ensuite plus profondément encore lorsque le soleil agit de nouveau. Ces actions alternatives divisent la terre et causent ou préparent des mouvements graves.

La gelée contribue à gonfler les surfaces et à les rendre moins résistantes, pendant qu'elle laisse toute action à l'eau absorbée qui a conservé sa liquidité ; quand vient le dégel, tout coule et les talus sont à refaire.

Pour éviter ces accidents, il faut masquer le terrain naturel sous une chemise qui le mette à l'abri des influences atmosphériques. On peut employer, our faire cette chemise, toute espèce de terres légères qui ne puissent pas fluer ou être entraînées par les vents, et qui soient propres à la végétation.

Fig. 22. — Revêtement des talus.

Une épaisseur de revêtement de $0^m,25$ à $0^m,30$ suffit pour préserver le terrain naturel des influences atmosphériques, même de la gelée. Pour que ce revêtement fasse corps avec le talus, il convient de préparer celui-ci, en y creusant des sillons de $0^m,20$ environ de profondeur, présentant en long des inclinaisons de $0^m,15$ environ par mètre (fig. 22).

Quand le terrain est ainsi préparé, on exécute la chemise par couches minces *damées avec le plus grand soin*. Les sillons en pente ont le double avantage de rendre plus sûre la liaison du revêtement avec le terrain naturel et d'assurer un prompt écoulement pendant l'exécution des travaux.

Il est essentiel, du reste, que les travaux de cette nature soient menés avec célérité pour éviter la détérioration du sol mis à vif.

Un revêtement en pierres ou en briques de $0^m,25$ ou $0^m,30$ d'épaisseur garni dans les vides avec de la terre légère ou du sable en guise de mortier pour abriter complètement la glaise, ou bien encore un revêtement en gazon pourrait remplacer la chemise en terre; mais, en général, la dépense serait beaucoup plus considérable et le travail ne vaudrait pas mieux.

La partie inférieure du talus, sujette à être baignée par l'eau ne peut être efficacement protégée que par un perré (fig. 23). Il faudra donc se décider à revêtir en moellons ou en briques, avec lit de pierrailles ou de cailloux, toute la section du fossé. La chemise en terre, une fois faite, il convient de la protéger elle-même par des semis et des plantations.

Ainsi, dans ce cas, les travaux peuvent se résumer comme suit :

— Écoulement de surface ;

— Revêtement du talus au moyen d'une chemise en terre ;

— Revêtement du fossé de la tranchée avec une maçonnerie sèche;

— Semis et plantations.

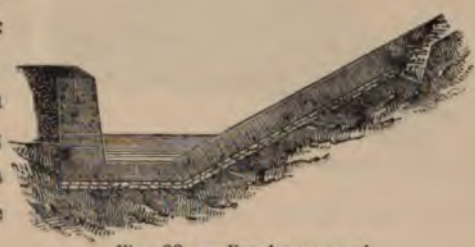


Fig. 23. — Fossé avec perré.

24. — Terrains glaiseux avec couches perméables. — Le cas qui donne lieu aux accidents les plus graves, est celui que présentent les tranchées dans lesquelles, au-dessus des couches d'argile forte ou de glaise se trouvent des couches perméables pouvant donner lieu à des écoulements ou même à des suintements à peine perceptibles. Le défaut d'homogénéité est le caractère immédiatement apparent de ces talus. La perméabilité de certaines parties peut être aussi évidente, mais la présence de l'eau n'est pas toujours facile à constater; d'abord parce que les suintements ne sont pas toujours permanents, ensuite, parce que la quantité d'eau qu'ils donnent est quelquefois si faible, qu'ils sont à peine perceptibles à l'œil ou à la main.

Pour constater l'existence de suintements, il sera bon d'observer les talus au lever du soleil, et d'avoir même la précaution de répandre sur le talus une

légère couche de sable sec qui pourra plus facilement accuser l'humidité en la conservant. Du reste, le mieux est d'observer souvent, et avec soin, à mesure des fouilles et quand on est parvenu à découvrir des suintements semblables dans des couches déterminées, de conclure que des suintements semblables existent ou existeront partout où on retrouve les mêmes apparences, la même constitution de terrain. C'est dans les terrains comme ceux qui viennent d'être définis que se présentent, en général, les éboulements les plus considérables. L'eau du banc de suintement agit alors sur les glaises inférieures, comme il a été dit plus haut des eaux de pluie, pour le cas d'un talus homogène ; bientôt ces glaises ramollies se mettent en mouvement et entraînent avec elles les terres placées au-dessus et souvent en masses extrêmement considérables.

Il y a dans ce cas, un travail spécial à faire pour empêcher les eaux de s'infiltrer dans les terrains et leur assurer un prompt et libre écoulement à l'extérieur. Ce travail, du reste fort simple, est de la plus haute importance.

Fig. 24. — Rigole longitudinale sans revêtement.

On ouvre dans le talus perméable et dans le sens longitudinal, une rigole (fig. 24), qui pénètre de $0^m,10$ au moins dans la glaise et à laquelle on donne une pente longitudinale de $0^m,01$ au moins, en alternant les pentes toutes les fois que cela est nécessaire. Dans cette rigole on établit un petit radier en briques simples, maçonnées au mortier hydraulique, puis on remplit la rigole de pierrailles, graviers ou cassons de briques, bien purgés de terre, en tas assez élevés pour dépasser un peu en hauteur la surface supérieure du banc perméable. On recouvre ce remplissage avec du gazon renversé ou, à défaut de gazon, avec des pierres plates, des briques ou des tuiles, pour empêcher la terre de pénétrer dans les interstices des graviers. Une longueur de $0^m,25$ à $0^m,30$ au fond des pierrées est presque toujours suffisante. Les parois se relèvent avec un fruit de $0^m,15$. Si les eaux étaient extrêmement abondantes, il faudrait augmenter les dimensions, ou mieux, ménager des vides de section suffisante dans la pierrée.

A tous les points bas on établit des rigoles transversales faites dans le même système, avec pente de $0^m,05$ au moins, sur le terrain solide (fig. 25). Ces pierrées, destinées à amener les eaux à la surface du talus, débouchent dans de petites cuvettes maçonnées, rampant le long du talus et aboutissant aux fossés (22).

Il vaudra mieux généralement établir les rigoles en pierrées transversales

sur le terrain ferme (fig. 26), suivant la pente du talus, pour les faire déboucher au pied de ce talus. De cette manière les pierrées pourront servir à assainir les redans de surface, sur lesquels on établira plus tard la chemise en terre.

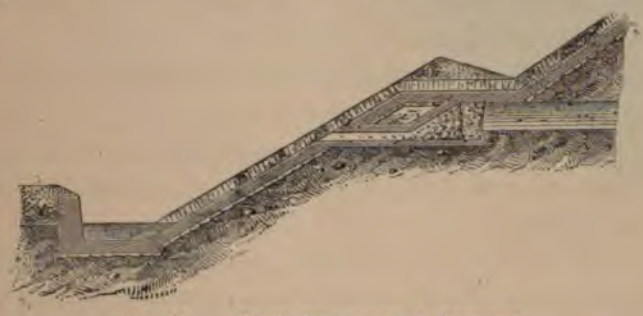


Fig. 25. — Rigole transversale à découvert.

Fig. 26. — Rigole transversale sans revêtement.

Outre le banc de suintement général, il peut se manifester quelques suintements partiels, ou bien quelques suintements de cette nature se présentent seuls dans un talus qui sans cela serait homogène. Tous les suintements partiels doivent donner lieu à un traitement semblable à celui qui vient d'être décrit et qui a pour objet essentiel de *recueillir* toutes les eaux et leur donner *vers le dehors un écoulement facile.*

Quand on ouvre une tranchée, les suintements se présentent quelquefois sur une assez grande hauteur, mais, généralement, au bout de peu de temps ils se concentrent sur une zone très peu épaisse à laquelle on applique les procédés décrits.

Lorsque les eaux persistent à sortir des talus sur de grandes surfaces, il convient de faire, suivant la surface des talus, une pierrée générale ou espèce de filtre embrassant toute cette surface, et ayant, pour écouler les eaux recueillies, des pierrées de fond et transversales, comme celles décrites précédemment.

Ce filtre général devra se combiner dans l'exécution avec des pierrées partielles comme celles décrites plus haut, s'il existe dans la masse générale du suintement des filtrations plus importantes qu'il faut recueillir séparément.

Le filtre pourra avoir $0^m,12$ à $0^m,15$ d'épaisseur et être recouvert d'un perré ou d'un revêtement en gazon de $0^m,30$.

Tous ces travaux de drainage doivent remplir les conditions suivantes :

— Être établis sur un terrain ferme ;

— Être à une profondeur telle, que la gelée ne puisse pas atteindre les eaux, il suffit pour cela que l'arête supérieure soit à $0^m,20$ ou à $0^m,25$ au-dessous de la surface du talus.

Il faut d'ailleurs que les pierrées aient un débouché suffisant, ainsi que nous l'avons dit, et qu'elles soient construites de manière qu'elles ne puissent s'obstruer.

Les obstructions seront toujours indiquées par des filtrations apparentes à la surface des travaux. Quand on en constatera l'existence, il faudra faire les réparations nécessaires pour qu'elles disparaissent.

Ce travail de drainage exécuté, on fera la chemise et le perré du fossé, comme il a été dit précédemment, en ayant soin d'établir, autant que possible, une banquette dans le talus, à l'aplomb des pierrées (fig. 24), pour en rendre la visite plus facile, en cas d'accident. Cette banquette devra d'ailleurs satisfaire aux conditions ordinaires. Les redans pour préparer le lit du revêtement devront être combinés de manière à rejeter, autant que possible, les eaux dans les rigoles transversales pendant l'exécution des travaux.

Sur le revêtement en terre, on fera des semis et des plantations, en ayant soin d'éloigner les arbustes des pierrées, d'une distance suffisante pour que les racines ne puissent pas les disloquer.

On ne mettra donc, dans une certaine zone au-dessus des pierrées, que des graines fourragères ou des plantes vivaces.

Il est, du reste, bien entendu que les écoulements de surface devront être, dans ce cas, assurés avec le plus grand soin, ainsi qu'il a été dit, et combinés autant que possible de manière que les descentes d'eau soient les mêmes que pour les pierrées longitudinales.

25. — Direction et entretien des travaux. — Les moyens d'assainissement décrits plus haut doivent être employés comme moyens préventifs, autant que possible.

Lorsqu'on ouvre une tranchée dans des terrains de la nature de ceux dont il s'agit, il est très important d'établir des pierrées longitudinales à mesure

qu'on découvre les bancs de suintement. On complète le système par des galeries ou des écoulements de surface provisoires. Cette manière d'opérer rend les travaux d'assainissement très peu coûteux et a le grand avantage de ne pas exposer la glaise à être détrempée ; par suite, de faciliter le travail de la tranchée et de donner de meilleurs terrains pour les remblais. En se préoccupant ainsi, dès l'origine, de l'assainissement il est presque toujours possible de réserver sur place, à peu de frais, les terres non fluentes nécessaires pour la confection de la chemise à établir au-dessus de la glaise.

Dans un chemin en exploitation, on a très souvent à appliquer les assainissements pour réparer les éboulements et il est bon d'indiquer les précautions spéciales à recommander dans ce cas.

Il y a d'abord un parti radical à prendre : c'est d'enlever complètement toute la masse ramollie ou disloquée qui a été mise en mouvement, même les parties de cette masse qui seraient au-dessous du fond de la tranchée ; *il est impossible, en effet, d'assécher convenablement les glaises ramollies.*

On s'astreindra donc à enlever toutes les terres qui ont participé au mouvement ; mais il ne faut commencer par là que si on peut le faire sans s'exposer à de nouveaux éboulements. S'il y a doute à cet égard, il vaut mieux commencer par décharger les parties de talus qu'il faudra adoucir, dans tous les cas. Les terres de ce déblai seront retroussées pour servir, si elles sont de bonne qualité, à faire le remblai du pied et la chemise de la glaise mise à nu.

Fig. 27. — Rigole transversale sur un mur en maçonnerie.

En général, il conviendra de régler le travail d'assainissement de manière à dresser le talus définitif avec des pentes convenables, mais en conservant,

autant que possible, les contours de l'éboulement. Les profils définitifs seront tracés partie en déblai, partie en remblai, pour trouver dans les terres franches du haut les remblais du bas, auxquels il conviendra de donner moins de un mètre d'épaisseur.

On établira des pierrées longitudinales d'assainissement et les pierrées transversales ou rampantes de sortie des eaux sur le terrain vierge mis à nu, et avec les précautions indiquées précédemment. Dans les cas de réparations, il conviendra presque toujours d'établir les pierrées transversales suivant la pente du talus, en ayant soin de n'en poser aucune partie en remblai.

Si la surface de glissement A M B (fig. 27) descend au-dessous du fond de la tranchée, il sera nécessaire, pour faire déboucher les eaux au-dessus du fossé, d'établir la rigole transversale dans le bas, sur un petit mur maçonné de $0^m,50$ d'épaisseur établi sur le terrain vierge (fig. 28).

Fig. 28

Ainsi le travail sera fait dans l'ordre suivant :

— Commencer par décharger, en retroussant les terres, le haut du talus de la chambre de l'éboulement suivant le profil définitif ;

— Faire les assainissements qui pourront être achevés avant l'enlèvement de la masse détrempée ;

— Compléter ces assainissements à mesure de l'enlèvement de cette masse ;

— Rapporter rapidement et mettre en place les terres qui doivent régulariser le talus ou servir de chemise à la glaise ;

En laissant la tranchée élargie dans l'emplacement des éboulements, on rend le travail plus économique et plus sûr, et les réparations ultérieures beaucoup plus faciles.

Dans tous ces travaux, la rapidité d'exécution est une grande garantie de succès et d'économie.

Il ne suffit pas d'avoir établi convenablement :

— Les écoulements d'eau de surface ;

— Les revêtements pour couvrir la glaise ;

— Les canaux d'assainissement ;

Il faut encore surveiller sans relâche et entretenir tous ces travaux en leur conservant, par les soins les plus assidus, leurs fonctions respectives.

Toutes les rigoles de surface doivent être maintenues propres et dans leurs pentes, de manière à éviter les flaques d'eau ou les infiltrations.

Les revêtements perdraient leurs qualités et manqueraient leur but s'ils étaient crevassés, discontinus ou amoindris dans leur épaisseur ; il faut les

surveiller avec soin, pour faire disparaître, sans retard ces défauts, s'ils viennent à se produire. L'entretien des semis et des plantations est d'un très bon effet pour prévenir les dérangements.

Les pierrées ou rigoles d'assainissement couvertes ont pour objet d'assurer un écoulement aux eaux. Les obstructions intérieures seront évitées par le soin qu'on aura pris de n'employer que des matériaux bien purgés de terre, et d'empêcher la terre placée au-dessus de passer dans la masse. Si, malgré cela, des obstructions se produisaient, elles seraient accusées par des filtrations à la surface, et il faudrait y remédier sans délai en découvrant la pierrée et rétablissant les parties défectueuses ou obstruées. — Sous ce rapport, la chemise en terre aura, sur les autres espèces de revêtements, l'avantage d'accuser plus sûrement les suintements et de se prêter plus commodément aux travaux de restauration.

Il faudra avoir soin, pendant les gelées, de casser la glace à la sortie des rigoles transversales, aussi souvent que possible, pour que l'eau ne puisse pas par l'obstruction des issues, être retenue à l'intérieur, où elle amènerait infailliblement de graves désordres.

26. — Perrés et murs en pierre sèche. — Les tranchées sont quelquefois pratiquées, dans des terrains meubles ou sableux, formés de roches désagrégées qui peuvent s'ébranler sous l'action des influences atmosphériques ou de l'ébranlement produit par le passage des trains. Si, dans ce cas, la bonne terre est peu abondante, et qu'au contraire on trouve la pierre à bon marché, comme dans certaines traversées de montagnes, on prévient les ébranlements en consolidant la surface du talus au moyen de revêtements complets ou de murs en forme d'M, d'ogives ou d'arcades (fig. 29) en pierre sèche de $0^m,25$ à $0^m,35$ d'épaisseur. Les parties non garnies de pierres sont recouvertes de terre ou de gazon, comme nous l'avons vu plus haut.

Fig. 29. — Revêtements en pierre sèche.

Le pied du talus est, dans certaines tranchées humides, très exposé aux dégradations. On le garnit donc de pierres (fig. 23), et quelquefois de murs maçonnés au mortier hydraulique dans lesquels il faut ménager des barbacanes. Au chemin de fer de l'Ouest français, on admet que, jusqu'à la hau-

teur de $1^m,50$ au-dessus de la plate-forme des terrassements, il convient d'élever des murs en pierre sèche et, qu'au-delà de cette hauteur, il est préférable de les faire avec du mortier, mais en leur donnant alors une épaisseur moins considérable. Les figures 30, 31, 32, 33 indiquent les principales dispositions adoptées suivant l'étendue du terrain disponible. On soutient quelquefois le pied des talus par un double revêtement, le premier en pierre sèche, l'autre en maçonnerie (fig. 33). Les eaux du talus filtrent à travers le premier revêtement, et s'écoulent dans le fossé des barbacanes traversant le

Fig. 30, 31. — Soutènement des talus.

mur en maçonnerie. Dans certaines circonstances, où la pression des terres était considérable, on a été obligé de donner à ces murs une forte épaisseur, d'augmenter leur stabilité au moyen de contreforts en gravier, pierre sèche ou

Fig. 32, 33. — Soutènement des talus.

maçonnerie ; de construire des épis, et même de véritables voûtes dont l'axe est perpendiculaire à la voie.

Les perrés sont exécutés avec des pierres plates bien litées, des moellons de carrière, ou enfin des pierres trouvées à la surface du sol, ayant au moins $0^m,21$ de queue. On les pose sur les talus bien régalés, par lignes horizontales, et autant que possible par joints recoupés. Ces joints sont remplis de débris de pierres et de mousse.

Sur la ligne de Wissembourg, on a établi comme suit, le prix de 1 mètre cube de maçonnerie en pierre sèche ;

Moellons, compris déchets, transportés au lieu d'emploi	$1^{m^3},15$ à $4^{fr}13$		$4^{fr}75$
Approche et main-d'œuvre.	Maçon	6^h à 0.20	1.20
	Manœuvre	4^h à 0.15	0.60
	Prix brut		6.55
	Faux frais 5 %		0.32
			6.87
Bénéfice de l'entrepreneur 10 %			0.69
Prix d'un mètre cube de maçonnerie sèche			$7^{fr}56$

Sur les chemins prussiens, les dépenses par mètre carré ont été ainsi calculées :

$0^{m^3},21$ de moellons à 4 fr. 25	$0^{fr}89$
Main-d'œuvre, mousse, outils, etc.;	0.44
Prix brut de 1^{m^3} de perrés	$1^{fr}33$

Enfin, sur la ligne de Saint-Dizier à Gray, le prix de la maçonnerie en pierre sèche, à joints incertains, s'établissait de la manière suivante :

Moellons bruts et déchets : $1^{m^3},10$ à 4 fr. 50	$4^{fr}95$
Main-d'œuvre, mousse, pierres pour joints : 1/3 journée de maçon	1.33
1/3 journée de manœuvre	1 »
Prix brut	7.28
Faux frais et bénéfices, 15 %	1.09
Prix du mètre cube	8.37

27. — Drainage. — Les procédés d'assainissement, décrits aux numéros 23, 24, 25 et 26, ont été longtemps appliqués à la consolidation des talus.

Depuis quelques années, on leur a substitué très avantageusement le procédé du drainage par tuyaux; ainsi, un talus glaiseux peut être également bien asséché en établissant, sur toute sa surface, des drains en écharpe plus ou moins inclinés, selon l'importance des suintements, et en réunissant leurs eaux dans des collecteurs placés en dessous des fossés ou de la plate-forme. Aux chemins de fer de l'Ouest français, on a établi des drains longitudinaux avec pente et contre-pente, au moyen de tuyaux de $0^m,03$ de diamètre, espacés de 5 mètres environ dans le sens de la hauteur des talus; à tous les points bas, on a réuni les eaux dans des tuyaux débouchant à la surface des talus, où elles sont reçues par des cuvettes rampantes en gazon ou en maçonnerie ; de cette manière, on peut surveiller facilement l'état de chaque file de drains. Il va sans dire que les talus drainés sont recouverts de bonne terre

et ensemencés; mais on fait bien de s'abstenir de les planter, la végétation des racines pouvant déranger ou obstruer les tuyaux.

Les drains se placent généralement au fond de saignées plus ou moins profondes; on les recouvre de pierrailles lavées, puis de terre végétale. Il est bon de garnir les joints des tuyaux avec de la mousse, pour éviter l'obstruction des drains.

La Compagnie de l'Est français a aussi appliqué, sur une très large échelle, et avec succès, le drainage des talus. Les diamètres des drains secondaires varient de $0^m,036$ à $0^m,04$, et celui des collecteurs, placés au pied des talus, est généralement de $0^m,06$. Les détails qui précèdent, et ceux qu'on trouvera au § V du présent chapitre, nous dispensent de plus amples explications.

28. — Exemples divers. — *Tranchée de Soultz.* — Quand une portion du sol prend un mouvement qui paraît vouloir continuer, il vaut mieux se résoudre à changer son assiette de base. A Soultz, dans la partie de la tranchée où le banc de glaise ne plongeait pas sous la plate-forme (fig. 34), on attaqua le massif ébranlé par tranches de 5 à 8 mètres de longueur — suivant l'axe de la ligne — et sur toute la profondeur de l'éboulement, en met-

Fig. 34. — Remaniement de terrain éboulé.

tant de côté la bonne terre pour être réemployée, et en découpant le banc de glaise solide par banquettes de 2 mètres de largeur, inclinées vers les terres; à l'amont de chaque banquette, on ménagea une rigole empierrée, conduisant les eaux de cette partie de la surface dans des rigoles de fond, normales au fossé de la tranchée.

La glaise extraite des banquettes et rigoles, étant rejetée et mise en dépôt, la bonne terre *seule* fut rapportée sur les banquettes jusqu'à la hauteur générale du terrain.

Dans la section de la tranchée où le banc de glaise plus incliné plongeait sous la plate-forme et occasionnait des mouvements presque sous la voie, il fallait ménager aux eaux lubrifiant l'argile un écoulement convenable.

Pour cela, on creusa d'abord une rigole longitudinale en amont, qui verse

ses eaux dans une rigole rampante, débouchant dans le fossé du pied du talus. Quant aux eaux traversant le massif rapporté, elles filtrent sur un matelas de gravier répandu à la surface du banc de glaise, presqu'au-dessous du fossé, et communiquant de loin avec un caniveau creusé dans l'axe de la plate-forme sur toute la longueur de la tranchée. La figure 35 montre la coupe de la tranchée suivant le niveau de ces caniveaux.

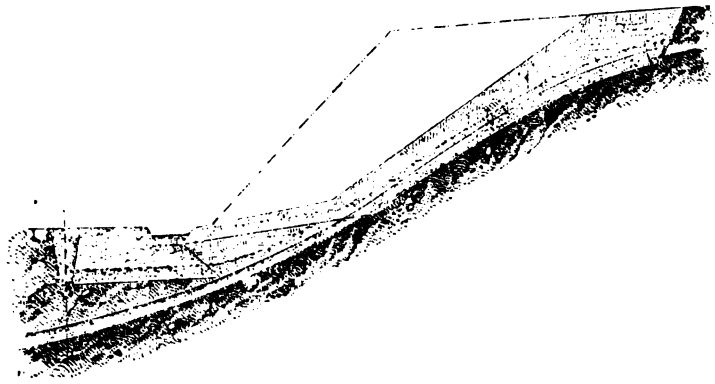


Fig. 35. — Filtre sous le talus et rigole en dessous de la plate-forme.

Tranchée de Clamart. – Cette tranchée, sur la ligne de Paris à Versailles, est percée dans un terrain formé de trois couches superposées ; à la base, le tuf, paraissant très solide au premier abord, mais ne tardant pas, sous l'action des influences atmosphériques, à se désagréger ; au-dessus, une couche de marne que les effets des gelées, du dégel et de la pluie rendent fluente. En se délayant, cette couche commence à couler, entraînant avec elle la couche supérieure formée de terre meuble perméable.

Pour arrêter ces désordres, il suffisait de consolider le pied et la surface des talus. On construisit donc, sur toute la hauteur du tuf, un mur, partie en maçonnerie à bain de mortier, partie en pierre sèche (fig. 33); le talus des deux couches supérieures fut revêtu d'une chemise en terre végétale fortement pilonnée, semée de graines fourragères et plantée d'acacias, d'épine-vinette et de saule-marsault.

Comme nous l'avons dit, les murs de soutènement peuvent varier un peu de forme et d'épaisseur. Quand la pierre est abondante, on les exécute en maçonnerie sèche d'une épaisseur convenable ; dans le cas contraire, les murs sont plus minces, mais maçonnés à mortier.

Tranchée de Blisworth. — Cette tranchée fait partie du chemin de fer de Londres à Birmingham (fig. 36). Elle a rencontré, vers le milieu de sa

profondeur, un couche de calcaire solide de $7^m,60$ d'épaisseur, intercalée entre une couche de terre meuble et un banc d'argile de 6 mètres.

Fig. 36. — Tranchée consolidée par des murs de soutènement et des voûtes renversées

Ce dernier banc, sous la pression des terrains supérieurs, et par l'action de l'atmosphère, se désagrégeait et menaçait de faire crouler toute la tranchée et ses abords. Pour y remédier, on eut recours à une maçonnerie en moellons, élevée jusqu'à la base de la couche calcaire; ce mur fut consolidé au moyen de contre-forts distants les uns des autres de 6 mètres, et reliés à ceux du talus opposé par des voûtes renversées passant sous la voie.

En arrière de ces murs, on pratiqua, au contact du banc d'argile, des drains débouchant par les barbacanes ménagées dans la maçonnerie.

La couche supérieure fut déblayée sur une largeur de $2^m,75$; ce déblai forma banquette sur le banc de calcaire, et soulagea d'autant la couche d'argile et le mur de soutènement.

Tranchées de Morcerf et Guérard. — La ligne de Paris à Coulommiers a traversé, entre Morcerf et Guérard, des terrains marneux aquifères, qui ont nécessité des travaux de préservation et de consolidation très intéressants.

Ainsi, à l'entrée de la tranchée, là où n'étaient à craindre que des détiorations de surface, on a pratiqué à la crête du talus une rigole destinée à recueillir les eaux des terres dominant la tranchée (fig. 37); à tous les points bas de cette rigole, un écoulement a été donné aux eaux par des caniveaux en planches de $0^m,15$ d'ouverture, placés à fleur des talus, et reposant dans une enveloppe de mortier hydraulique de $0^m,05$ à $0^m,06$ d'épaisseur, qui doit remplacer l'effet des planches quand celles-ci seront détériorées par le temps. Ces caniveaux sont faits par portions de $1^m,50$ de longueur, les planches de côté simplement clouées sur celles du fond, leur écartement supérieur maintenu par de petits tasseaux cloués; on a pris la précaution de goudronner les joints.

Ces caniveaux descendent jusqu'au pied du talus, garni, ainsi que le fond

du fossé et la paroi qui soutient le ballast, d'un perré en pierre sèche. Le talus est recouvert en bonne terre pilonnée et semée de luzerne.

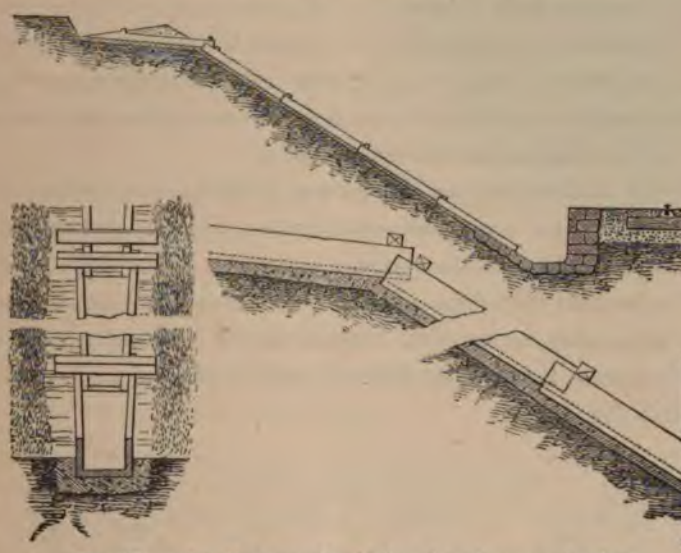


Fig. 37. — Cuvette rampante en béton et caniveau en planches.

En pénétrant plus avant dans la tranchée, le travail a mis à nu un banc de suintement qui détériorait les surfaces. Pour y porter remède, on a décapé le talus, en déposant à proximité les terres désagrégées, pour les reprendre ultérieurement ; les couches aquifères ont été coupées à pic, l'entaille prolongée jusque dans le terrain imperméable (fig. 38). Au fond de la saignée,

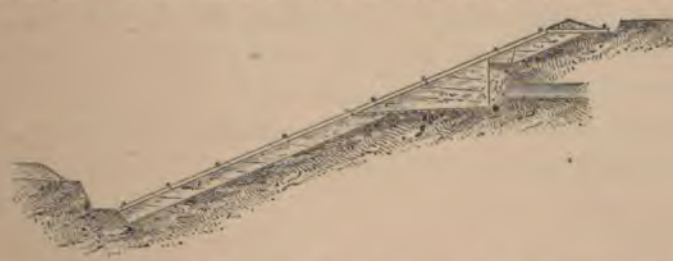


Fig. 38. — Application du drainage et des revêtements à la consolidation des talus.

on a placé un ou deux tuyaux de drainage, puis de la blocaille. A chaque point bas de la saignée longitudinale, un tuyau de drainage transversal, quelquefois deux côte à côte, amènent les eaux de la saignée à la surface du talus, où elles coulent dans des caniveaux rampants en bois et mortier hydraulique. Après avoir protégé la tranchée par une rigole de crête gazonnée,

ou mieux encore garnie d'un bon corroi d'argile, on a replacé, sur le talus, les déblais provenant du décapage, le tout recouvert de terre végétale bien pilonnée et ensemencée de luzerne.

Dans la partie la plus profonde de la tranchée, la base des talus est creusée à pic dans un banc d'apparence solide, mais qui se désagrège insensiblement par l'effet des gelées et des dégels successifs; l'action de ces détériorations se traduit par des ébranlements très considérables.

Pour éviter des dépenses assez importantes, qu'eût occasionnées la construction d'un mur destiné à masquer cette couche, on s'est contenté de placer, de distance en distance, des épis en maçonnerie à joints perdus, traversés par des barbacanes; immédiatement au-dessus des épis, une rigole reçoit les eaux du talus; celles des terrains, dominant la tranchée, sont recueillies par une rigole de crête, le tout étant d'ailleurs traité comme les points précédemment décrits (fig. 39).

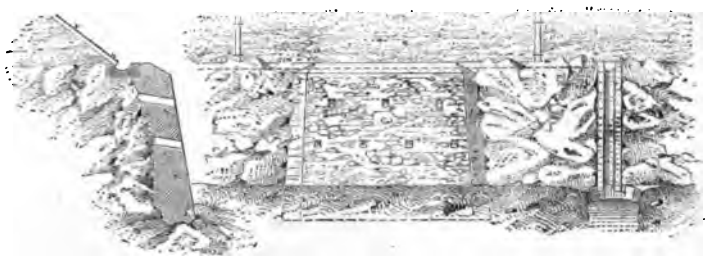


Fig. 39. — Épis en maçonnerie dans une tranchée.

Cette disposition a été reconnue insuffisante, et, pour maintenir les talus en état, dans les intervalles non masqués qui séparent les épis les uns des autres, on construit des revêtements en maçonnerie, ayant la forme de portions de cylindres dont la concavité est tournée vers la voie.

Sur d'autres points, où les talus étaient éboulés, les travaux de consolidation ont pris encore plus d'importance.

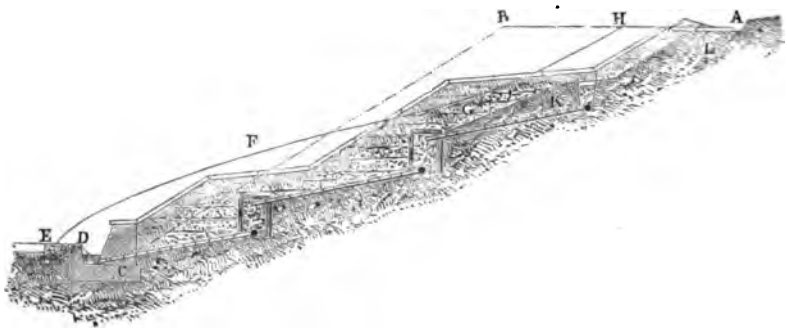


Figure 40. — Réfection et assainissement d'un talus ébranlé.

Le talus, lors de la construction, avait le profil ABCD (fig. 40); à la suite de quelques jours pluvieux, il prit la forme AHGFE, de telle sorte que le pied des terres coulées avait franchi le fossé et envahi la voie qu'il menaçait d'interruption.

Pour arrêter le désordre, les terres ébranlées ont été enlevées, puis le talus découpé jusqu'au terrain solide, suivant le profil LKJI. Plusieurs bancs de suintement étant ainsi mis à découvert, chacun d'eux a été muni d'un filtre en pierres cassées, garni de paillassons. Des saignées aux points bas réunissent les eaux et les conduisent, successivement, dans le fossé de la tranchée. Enfin, le talus est consolidé à sa base par un mur en maçonnerie hydraulique; le reste de sa surface est recouvert d'une chemise faite avec un mélange de terre provenant de l'éboulement et de bonne terre d'emprunt; cette chemise a été pilonnée par couches horizontales. Enfin on a semé sur toute la surface du talus de la graine de luzerne.

29. — Nécessité d'une étude géologique. — Il est des cas où les consolidations de surface ne suffisent plus pour maintenir les talus, notamment quand les tranchées ont dérangé l'équilibre des couches traversées. Dans ces circonstances, il faut pratiquer de véritables galeries de mine pour arrêter les eaux avant leur arrivée sur le plan de glissement.

Les divers exemples que la pratique nous donne viennent chaque jour confirmer les recommandations inscrites au numéro **1** de ce chapitre. Heureusement que les progrès dans les moyens d'exploitation permettent aujourd'hui de modifier sans inconvénient les tracés, et l'ingénieur qui rencontrerait une tranchée analogue à celle de Robroyston Moos, sur la ligne de Glascow à Garwkirk, ne s'arrêterait pas aux projets primitifs, comme l'ont fait MM. Grainger et Miller, qui ont exécuté ce chemin. Cette tranchée, longue de 700 mètres, et profonde de 10 mètres environ, a été pour ainsi dire vidée trois fois. Le terrain y était tellement spongieux et fluide qu'il remplissait la tranchée au fur et à mesure de la sortie du déblai. Il est résulté de ce fait un affaissement général de près de 10 mètres, de la surface latérale au chemin de fer, affaissement qui s'étend à plus de 100 mètres de chaque côté de la ligne.

§ IV.

Entretien des remblais.

30. — Causes de détérioration. — Ce que nous avons dit relativement à la nature des terrains en tranchées et à l'entretien de leurs talus, s'applique généralement aux remblais. Cependant comme on est presque toujours maître de composer le corps d'un remblai avec des matériaux convenables, provenant d'emprunts bien choisis, et de rejeter les terres extraites d'une mauvaise tranchée, les dérangements des remblais, au point de vue de l'entretien, sont moins graves que ceux des tranchées. Ces dérangements peuvent provenir de trois causes que nous allons examiner successivement :

— Défaut de résistance du sol sur lequel repose le remblai ;

— Mauvaise qualité des matériaux ou exécution défectueuse du remblai ;

— Action des eaux baignant les talus.

31. — Remblais sur sol compressible. — Les divers moyens dont dispose l'ingénieur pour asseoir un remblai sur un sol de résistance insuffisante peuvent se résumer ainsi : assécher le sous-sol ; enlever la matière compressible ; faire une base artificielle, avec des fascines, des pieux, ou des puits remplis de matériaux résistants ; élargir la base d'appui du remblai ; composer le remblai de matériaux très légers ; enfin surcharger le remblai jusqu'à ce qu'il atteigne la solidité voulue. Tous ces moyens ont été employés soit isolément, soit combinés entre eux ; il ne rentre pas dans notre cadre de les discuter, et l'ingénieur chargé de la construction devra étudier la méthode la plus économique et la plus sûre pour donner aux remblais une base inébranlable.

Dans tous les cas, assécher le sous-sol aussi complètement que possible constitue le premier moyen à employer. C'est ainsi qu'ont été consolidés : le remblai de Chatmoos (Liverpool à Manchester), assèchement, fascinages et remblai léger ; celui de Hattenhofen (Munich à Augsbourg), assèchement et consolidation du sous-sol par des troncs de pyramides remplis d'argile compacte, celui de Renbershofen (Augsbourg à Lindau), d'une hauteur de $52^{m},85$ reposant sur une couche de tourbe de $3^{m},60$ d'épaisseur, au point de partage de deux petites vallées latérales.

Quand on n'a pas pris la précaution de donner aux eaux du sous-sol un écoulement suffisant avant d'exécuter les travaux, le remblai s'enfonce, s'étend en tous sens et absorbe une masse de terre très considérable, — rem-

blai de Riedseltz, ligne de Strasbourg à Wissembourg — quelquefois il amène des désordres en soulevant le sol des propriétés voisines. On peut trouver avantage, dans ce cas, à faire l'acquisition de deux zones latérales, et à y rapporter des remblais qui font équilibre au remblai principal, ainsi qu'on l'a fait au voisinage de la station de Chelles, ligne de Paris à Strasbourg.

32. — Remblais défectueux. — C'est le cas qui donne les plus fréquentes occasions de travaux de réparation ou de consolidation, car il résulte presque toujours de la rapidité d'exécution, ou du désir des ingénieurs d'utiliser les terres extraites des tranchées, ou enfin des circonstances atmosphériques pendant lesquelles le remblai a été construit.

Pour l'éviter, il faut faire un choix dans les déblais, ne pas mélanger les terres de natures différentes, ne pas former les parties extérieures du remblai avec de l'argile ou de la glaise que les pluies délayent ; suspendre les travaux pendant les grandes pluies persistantes ; ne pas enfouir dans le corps du remblai des blocs de terre gelée ; assurer enfin aux eaux renfermées dans le remblai ou s'y accumulant un écoulement facile. L'omission de ces mesures préventives a eu quelquefois de fâcheuses conséquences, et les travaux que l'on a dû exécuter pour en empêcher le retour ont pris, dans certains cas, des proportions considérables. Les exemples suivants peuvent en donner un aperçu.

Remblai de Falaise. — A l'embranchement de Falaise, sur la ligne du Mans à Mézidon, il existe, près de Falaise, un remblai de 12 mètres de hauteur, assis sur un sol moitié glaiseux, moitié graveleux, en pente très raide.

Fig. 41 — Reconstruction d'un remblai éboulé.

En établissant ce remblai, on ne prit pas la précaution de tailler le terrain en gradins, comme nous l'avons dit plus haut (8) ; en outre, un petit aqueduc construit sous le remblai s'écroula et mit obstacle à l'écoulement des eaux ; le pied du remblai ne tarda pas à se détremper, à s'affaisser en fluant vers le

bas du vallon, le talus d'aval prenant la forme indiquée par la ligne ondulée de la figure 41.

Pour rétablir les choses en état, on commença par reconstruire l'aqueduc afin d'y déverser les eaux réunies au moyen d'un fossé ménagé au pied du talus d'amont (fig. 42). Alors on mit en dépôt les terres écroulées ; au pied de l'éboulement fut creusée une fouille de 10 mètres de largeur disposée en gradins, comme le montre la figure 41 ; on y rapporta par couches pilonnées les terres mises en dépôt, puis on reforma le talus du remblai en le divisant par des banquettes inclinées, afin de ménager aux eaux de pluie un écoulement rapide. La surface du talus et des banquettes fut plantée de brins d'osier qui ont pris racine rapidement, aujourd'hui le remblai est parfaitement assis. Nous ferons remarquer que ces travaux ont été exécutés pendant l'exploitation du chemin et que, pour maintenir la voie en état de supporter la circulation des trains, on était obligé de rapporter constamment du ballast, afin de combler le vide laissé par les terres éboulées.

Fig. 42. — Fossé au pied du talus d'un remblai.

Nous indiquons dans le chapitre suivant (71) l'un des moyens qui réussissent le mieux, quand on veut consolider un remblai éboulé en partie et maintenir la circulation des trains.

Remblai de la Main-Weser-Bahn. — Les levées formées avec de l'argile subissent souvent des affaissements, par suite de l'introduction, dans la masse du remblai, de la pluie ou de l'humidité du sol sur lequel il repose.

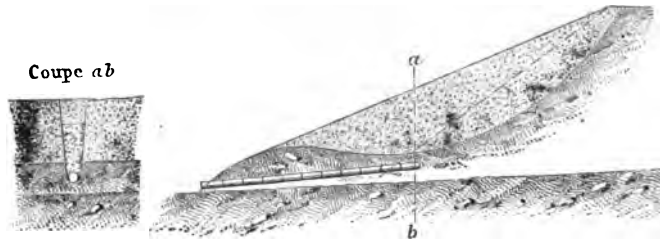


Fig. 43. — Drainage d'un remblai.

Deux remblais importants de la ligne du Main au Weser furent exécutés et poursuivis, forcément par un temps de pluie ; dans le cours des travaux survinrent des glissements dont il ne fut pas possible de relever les masses, et qu'il

fallut recouvrir de nouveaux remblais, ce qui se fit en presque totalité, avec du sable. Il résulta de ce concours de circonstances que le pied des talus fut limité par l'argile, dont la présence empêcha l'assèchement des parties remblayées en dernier lieu (fig. 43).

Ces talus ont été traités et parfaitement assainis par un drainage complet. Dès que l'on fut à peu près certain que les grands mouvements étaient arrêtés, on pratiqua des saignées inclinées, partant du pied des talus, et poussées jusqu'au noyau central du remblai. Ces saignées, garnies au fond d'un tuyau, les joints enveloppées de mousse, furent comblées avec les déblais qui en provenaient ; en cours d'exécution, des tassements ultérieurs annulèrent l'effet des premiers drainages. Pour rendre aux saignées leur efficacité, on recouvrit les tuyaux de pierrées de $0^m,50$ à $0^m,75$ de largeur sur $1^m,25$ à $1^m,50$ de hauteur (fig. 35, coupe *ab*).

Les drains ainsi établis ont donné des quantités d'eau considérables. Leur longueur est très variable et atteint jusqu'à 45 mètres, leur espacement dépendant des circonstances locales. Quand le terrain était difficile à dessécher, la distance des drains entre eux ne dépassait pas 5 mètres ; si, au contraire, la masse renfermait du sable, on pouvait, sans inconvénient, pratiquer les saignées à 15 mètres les unes des autres.

Remblai de Villiers. — A la suite de plusieurs jours de pluie, le remblai de Villiers, — ligne de Paris à Mulhouse, — d'une hauteur de 8 mètres en moyenne s'était éboulé sur une longueur de 160 mètres environ. Le pied de son talus du côté de la voie descendante, établi primitivement à 18 mètres de l'axe, se trouvait transporté à plus de 35 mètres sur certains points (fig. 44). L'éboulement fut laissé en place, mais on pratiqua, au pied de

Fig. 44. — Assèchement de remblai par filtre longitudinal au pied du talus.

l'ancien talus, une petite tranchée au fond de laquelle on établit une murette en pierre sèche, formant filtre, qui débouche dans des rigoles transversales ;

cette tranchée fut remplie avec les terres pilonnées, et la surface du talus rétablie au moyen de ballast rapporté.

Ces travaux de consolidation et de restauration peuvent s'évaluer comme suit :

Terrassements :

Déblai de terre marneuse, à 2 jets de pelle. avec transport à 10 mètres, pour la tranchée longitudinale	1600^{m3}	à 0^{fr},80	1280^{fr},00
Déblai à 1 jet de pelle, pour rigoles transversales	288	à 0,70	201,60
Déblai de terre, pour règlement de profils, avec transport à 50 mètres	380	à 0,60	228,00
Déblai de fossé	24	à 0,30	7,20
Remblai, pilonnage, reprise, etc.	1615	à 0,40	646,00
Règlement du talus	750	à 0,15	112,50
		Total des terrassements	2475^{fr},30

Maçonnerie à sec :

Perrés formant filtre, joints remplis de ballast, fourniture et main-d'œuvre	246^{m3},60	à 6^{fr},00 . . .	1479^{fr},60
Perrés des rigoles transversales.	42 , 50	à 6,00 . . .	255,00
		Total de la maçonnerie . . .	1734^{fr},60
Fourniture de bourrées	80^{m3}	à 0^{fr},15	12^{fr},00
Dépenses imprévues.			378,10
		Dépense totale	4600^{fr},00

Ce procédé nous paraît plus coûteux que le précédent, tout en s'appliquant à un cas semblable.

Remblai de Sourbourg et des Tourbières (Ligne de Wissembourg). — Le premier, d'une hauteur de 4 mètres en moyenne, construit avec des terres argileuses congelées, repose sur le sol d'une prairie très humide.

Fig. 45. — Assèchement de remblai par drainage de talus et consolidation par contreforts.

Quelque temps après la mise en exploitation, la glaise se délayant sous l'action de l'eau renferme dans le corps du remblai, et de la pluie qui pénétrait

par les gerçures de la plate-forme, le talus du côté de la première voie s'affaissa et prit la forme indiquée figure 45, l'éboulis atteignant l'extrémité des traverses.

Pour rétablir le remblai en bon état on pratiqua des tranchées perpendiculaires à l'axe de la ligne, sur une profondeur de 1 à 2 mètres, selon les circonstances ; au fond deux fascines remplies de gravier, placées l'une à côté de l'autre, puis une troisième fascine placée sus les deux premières ; le tout recouvert de terre pilonnée par tranches horizontales.

Ces travaux d'assainissement terminés, on releva les parties éboulées et l'on garnit le pied du talus d'un cavalier de 2 mètres de hauteur et de 3 mètres de largeur, sous lequel passait le prolongement des saignées d'assèchement.

La dépense de ces consolidations s'appliquant à 4.600 mètres de talus s'est élevée à 8.063$^{fr.}$,90, soit 1$^{fr.}$,75 par mètre carré.

Le remblai des Tourbières, comme l'indique son nom, traverse un terrain sensiblement horizontal, renfermant une couche de tourbe de 1 mètre à 1^{m},80 d'épaisseur. Ces tourbières, depuis longtemps en exploitation, présentent des alternances de fouilles comblées par la découverte des parties exploitées et de parcelles où la tourbe n'est pas encore extraite. Le remblai qui a une longueur de 2.000 mètres, avec une hauteur variable de 3 mètres à 6^{m},45 se trouva en plusieurs points sur les limites des excavations remblayées ; il en résulta donc des différences de résistance dans sa base d'appui, qui se traduisirent par des affaissements de talus facilités encore par l'absorption de l'humidité du sol à travers l'argile sablonneuse constituant le remblai. On traita ces éboulements par des drainages analogues à ceux du remblai de Sourbourg, mais sans addition de contreforts (fig. 46).

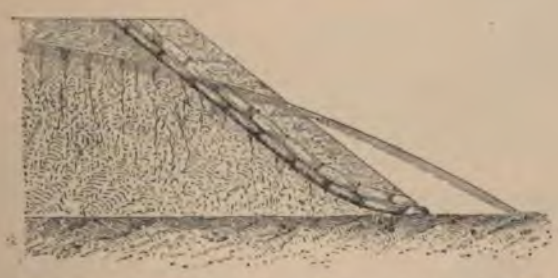


Fig. 46. — Consolidation de remblai par drainage de talus.

Ces travaux comprenaient :

1° Surface de talus relevés, pilonnés sur 2 mètres d'épaisseur et drainés	3562$^{m^2}$
2° Surface de talus drainés sans relevage	1000
Surface totale	4562$^{m^2}$

La dépense totale de ce travail a été de 4.240$^{fr.}$,41 soit 0$^{fr.}$93 par mètre carré.

Remblai de Morcerf. — Nous avons décrit (19) les effets qui s'étaient produits dans les tranchées de la ligne de Paris à Coulommiers. Sur la même ligne et à la suite de la tranchée de Guérard, le remblai situé près de la station de Morcerf a subi des altérations analogues.

On crut d'abord pouvoir arrêter ces désordres, en construisant des épis en pierre sèche, disposés dans des puits blindés, creusés dans les parties éboulées, mais ces épis, n'ayant aucun point d'appui solide, n'ont pas tardé à suivre la marche générale de la masse.

Cet insuccès engagea les ingénieurs à adopter la méthode des assainissements et des contreforts, dont nous avons déjà donné quelques exemples.

Le remblai, après les dérangements, avait pris la forme indiquée par la ligne courbe EFGH (fig. 47). L'éboulement fut attaqué par le pied au moyen de tranchées successives blindées et poussées jusqu'au pied de l'ancien talus. En ce point on dirigea parallèlement au chemin de fer une tranchée dans laquelle on établit un tuyau de drainage recouvert par un filtre de pierres cassées enveloppées de tous côtés par des paillassons pour empêcher l'introduction des terres dans le filtre; puis on construisit au pied de l'éboulement pour arrêter tout mouvement ultérieur, un cavalier formé de couches horizontales de bonne terre, provenant d'emprunt, mélangée aux terres du remblai, chaque couche fortement pilonnée à la dame plate.

Fig. 47. — Consolidation de remblai par drainages longitudinaux et contreforts.

Le cavalier MNP étant parvenu au tiers de la hauteur du remblai, on refit le talus primitif en le raccordant avec la plate-forme, suivant la ligne BQ, au moyen de terres pilonnées.

Sur quelques points le remblai ne se trouva pas assez consolidé, et bien que le contrefort inférieur n'ait subi aucun mouvement, la face BQ donna des signes de tendance au gonflement.

On y appliqua un remède analogue à celui qui a été employé au pied du talus : un second filtre communiquant avec le premier, une nouvelle banquette BRP ; par ce moyen le remblai fut parfaitement consolidé.

Il est bien entendu que tous les filtres longitudinaux étaient disposés avec pentes, contrepentes et écoulement des eaux à l'extérieur des banquettes.

33. — Action des eaux extérieures. — Les eaux baignant le pied ou la surface des talus peuvent également produire des désordres dans un remblai.

Quand il est impossible de faire évacuer les eaux, ou de soustraire les talus à leur action, il faut construire ces remblais en matériaux bien dépouillés d'argile et à plus forte raison de glaise ; de plus, garnir les talus de perrés et de gazonnements, principalement à la hauteur du niveau que les eaux peuvent atteindre et conserver pendant un certain temps. La figure 48 indique le système employé généralement pour préserver les remblais de l'érosion des eaux d'inondation (15).

Fig. 48. — Revêtement de remblai baigné par les eaux.

Il est des cas où les eaux d'inondation enlèvent complètement un remblai qui forme barrage ; dans ce cas, il vaut mieux remplacer tout de suite le remblai par un viaduc, que de prendre la charge d'entretenir le remblai et courir le risque des accidents ou tout au moins des interruptions de service (71).

Dans certaines plaines il arrive qu'en temps de crues les eaux charrient des arbres, des détritus de végétaux et des apports argileux ou autres qui viennent s'amonceler au débouché des ouvrages d'art ou dans les fossés des talus, et c'est surtout dans les études du tracé de la ligne qu'on devra rejeter toute solution qui consisterait à établir un remblai formant barrage d'un bassin déterminé.

En résumé, l'action des eaux de sources, de cours d'eau ou de pluie est la cause la plus fréquente des difficultés que les ingénieurs éprouvent à maintenir le chemin de fer en bon état. Les frais d'entretien de la ligne dépendant en grande partie des soins qu'on donne à cette question, le chef de service doit veiller à ce que tous les fossés en général et les cours d'eau en contact avec le corps de la route, soient débarrassés en temps voulu, de tous les objets qui pourraient les obstruer, tels que glaces, corps flottants, plantes aquatiques, dépôts.

Les maires des communes font souvent exécuter des travaux de curage des fossés et cours d'eau, pour lesquels le chemin de fer est imposé proportionnellement au développement du cours d'eau sur son domaine. Ces travaux donnent lieu à des réclamations de payement faite à une époque où il n'est plus possible de contrôler les dépenses effectuées. Les agents du chemin de fer se tiendront donc au courant des décisions administratives prises sur cette matière dans la localité, et feront exécuter les travaux incombant à l'administration du chemin de fer, par des ouvriers attachés au service de la voie.

34. — Entretien des dépôts et prélèvements latéraux. — Cet entretien se réduit à peu de chose quand on a pris toutes les précautions nécessaires lors de la construction. Les talus (20) n'ont pas besoin d'être dressés avec autant de soin que ceux des remblais et des tranchées. L'entretien des chambres de prélèvement consiste principalement à assurer l'évacuation des eaux. En effet, quand arrive la saison des pluies, l'eau se rend au fond des emprunts, y devient stagnante et peut produire pendant l'été des miasmes dangereux, si on ne lui donne pas un prompt écoulement.

D'après les décrets du Conseil d'Etat des 19 mars 1855 et 4 avril 1861 lorsque, par suite de l'insuffisance des mesures prises par la Compagnie concessionnaire d'un chemin de fer, à l'effet d'assurer l'écoulement des eaux réunies dans les chambres de prélèvement, la stagnation a eu pour résultat de donner naissance à des fièvres d'accès, dont les habitants des maisons voisines ont subi les atteintes, le préjudice qui en résulte peut être considéré comme constituant un dommage direct et matériel de nature à ouvrir un droit à indemnité [1].

On peut du reste prendre des mesures très simples pour l'assèchement des chambres d'emprunt ; y creuser, par exemple, des fossés longitudinaux (fig. 49), de 1 mètre de largeur environ, dont on emploie les terres à relever

(1) Palaa Dictionnaire, page 178.

jusqu'à $0^m,60$ au-dessus des eaux les banquettes intermédiaires, larges également de 1 mètre, en ménageant de faibles pentes et des sillons transversaux vers les fossés. Les eaux se réunissent dans les fossés, laissant à sec la plus grande partie du fond de la chambre d'emprunt ; on peut alors couvrir

Fig. 49. — Assainissement et utilisation des chambres d'emprunt.

les banquettes de plantations, en donnant la préférence aux essences susceptibles de prospérer dans les terrains humides; saules, osiers, aunes, etc. ; on en plante deux rangées parallèles sur chaque banquette, à $0^m,25$ du bord. Si les chambres d'emprunt sont très profondes et reçoivent beaucoup d'eau, on en forme alors de véritables étangs que l'on peut louer pour la pêche, mais en conservant la possibilité de les vider immédiatement quand surviennent les temps secs (86).

Il faut tenir en bon état les talus des dépôts et emprunts, les empêcher de s'étendre trop loin, et autant que possible les couvrir de gazons, de semis ou de plantations dont on puisse tirer profit. En règle générale on doit utiliser d'une manière quelconque, et autant que leur nature le permet, en location pour dépôts ou culture, toutes les parcelles excédantes qui font partie du domaine du chemin de fer (87).

§ V.

Entretien de la Plate-Forme.

35. — Entretien courant. — L'entretien de la plate-forme se réduit encore, comme l'entretien des talus, des tranchées et des remblais, à donner, dans tous les temps, un écoulement facile aux eaux de pluie ou de source, qui détrempent l'assiette du ballast; si l'on ne prend pas ce soin, le ballast ne tarde pas à pénétrer dans la plate-forme, et réciproquement la

masse de la plate-forme s'élève jusqu'au-dessus des traverses; celles-ci se trouvent alors dans un terrain mou, marécageux, rendant impossible le maintien de la voie en bon état et pouvant occasionner des déraillements, lors des gelées surtout.

Pour y remédier, il suffit, dans certains cas, de donner à la plate-forme une pente convenable au dehors, et une surface suffisamment dure, pour que les eaux traversant le ballast se rendent immédiatement vers les talus, sans pénétrer dans le corps du chemin.

Dans d'autres circonstances il faut traiter la plate-forme comme terrain à assainir et lui appliquer un drainage.

36. — Assainissements. Plate-forme du Theil. (Ligne de Paris à Rennes). — Entre les deux stations du Theil et de la Ferté, la voie était établie sur un terrain que les pluies rendaient mouvant, surtout dans les tranchées. Après avoir essayé, à grands frais, divers modes d'assainissement, on se résolut à remanier complètement la plate-forme et la voie elle-même.

A cet effet, la circulation des trains fut établie sur voie unique entre les deux stations ; on enleva la voie libre et son ballast jusqu'à la plate-forme, qui fut dressée et damée avec soin en lui donnant une très grande pente de l'axe vers l'extérieur. Dans la tranchée du Theil, on découpa la plate-forme par des sillons transversaux remplis de pierres cassées et lavées (fig. 50). Ce

Fig. 50. — Assainissement de plate-forme par saignées transversales.

travail terminé, on plaça sur la plate-forme les traverses sabotées à nouveau, les rails munis cette fois de coussinets-éclisses, et la première couche de ballast, en utilisant à cet effet, la voie provisoire. On acheva son ballastage, et la circulation fut rétablie sur la voie restaurée. Une opération semblable, appliquée sur l'autre voie, a rendu à la ligne, dans cette partie, toute la solidité désirable et ramené l'entretien à des conditions normales.

Plate-forme en tranchée de la ligne de Wissembourg. — La plate-forme de plusieurs tranchées argileuses de cette ligne est naturellement humide, par suite peu résistante. Elle se déprime sous la pression des traverses au passage des trains et se transforme en une série de fossés, où l'eau s'amasse.

L'argile se délaye alors et reflue, en forme de bourrelets qui atteignent le niveau supérieur des traverses et même des rails. Tel est l'effet indiqué par la figure 51 et qui s'est produit dans les tranchées du Hundshof, du Strohubel et de Sourbourg.

Fig. 51. — Plate-forme en argile humide.

Cette détérioration de la plate-forme amenait des dérangements continuels dans les alignements et les pentes de la voie, de telle sorte que des relevages en grand étaient constamment nécessaires.

Pour s'opposer à l'enfoncement des traverses, on crut d'abord qu'il suffirait de répartir leur pression sur une plus grande surface, et à cet effet on les fit porter sur deux *doubles* rangées de dosses ou planches brutes, placées suivant la direction des rails.

Cette disposition (fig. 52) arrête le mouvement des traverses, mais elle ne réussit pas quand la plate-forme est humide et que le ballast peut y pénétrer. Aussi, dans ce dernier cas, l'effet primitif se reproduisit sur le système entier, avec cette modification que la pression, exerçant latéralement son effort, déterminait le glissement de la voie, ballast et plate-forme compris, vers le fossé qui menaçait de se combler.

Fig. 52.— Consolidation provisoire de la voie sur plate-forme humide.

On essaya alors d'intercaler entre les traverses, une dosse placée de telle sorte que, sa face plane reposant sur le ballast, ses extrémités servaient aux rails de points d'appui (fig. 51).

Quoique ce dernier procédé ne puisse être considéré que comme un palliatif éminemment temporaire, il atteignit le but proposé en donnant à la voie une stabilité suffisante jusqu'à l'achèvement des travaux d'assainissement dont les tentatives de consolidation énumérées plus haut démontraient la nécessité.

Entre les kilomètres 29 et 30, l'assèchement de la plate-forme a été obtenu au moyen de deux rigoles longitudinales ouvertes sous les extrémités des traverses (fig. 53), partagées en pentes et contre-pentes de 3 à 6 mètres de longueur ; ces rigoles ont $0^m,15$ environ de profondeur en haut et $0^m,20$ en bas des pentes, où elles rencontrent des rigoles transversales qui les relient aux fossés latéraux. Ces rigoles sont remplies de gravier sur une hauteur de $0^m,12$ à $0^m,15$, recouvert de mousse et enfin de ballast.

Fig. 53.— Plate-forme asséchée par rigoles.

Ce procédé d'assainissement de la plate-forme a été appliqué sur

	564	mètres de rigoles longitudinales
	825	— transversales
soit	1389	mètres de développement.

La dépense totale s'étant élevée à 890 fr. 90, le prix du mètre courant de rigole est de 0 fr. 64.

Cette méthode est applicable quand on n'a qu'un assèchement de surface à effectuer ; mais si l'humidité pénètre à une grande profondeur, on peut employer le moyen suivant, adopté dans la tranchée de Hundshof, ou l'assainissement a été opéré par des tuyaux de drainage disposés de deux manières différentes (fig. 54).

Fig. 54. — Plate-forme drainée.

Dans l'axe de la tranchée, les tuyaux sont placés à $0^m,80$ de profondeur et à une distance de $0^m,50$ de l'axe de la voie ; ils sont recouverts de paille, et la fouille est remblayée d'un mélange à parties égales de ballast et de glaise. Le minimum de la pente est de $0^m,002$. A droite de la tranchée, les tuyaux ne sont enfouis que de la quantité strictement nécessaire pour opérer l'absorption des eaux retenues par les parties les plus déprimées de la plate-forme. Au moyen de pentes et de contrepentes de $0^m,003$ au minimum, sur des longueurs que les circonstances ont fait varier de 5 à 30 mètres, les eaux sont amenées dans des tuyaux transversaux qui débouchent dans les fossés.

De ces deux modes de drainage, le premier n'est applicable que dans une tranchée dont les couches humides sont très épaisses ou dans un palier de peu d'étendue, car il oblige à pratiquer des fouilles considérables, pour ménager la pente nécessaire ; il demande d'ailleurs, lorsque le débouché ne se trouve qu'à une grande distance, un développement exagéré au-delà de la partie à dessécher. Il exige encore des tuyaux d'une ouverture d'autant plus grande que son parcours est plus allongé, puisque la quantité d'eau qu'il reçoit est proportionnelle à ce parcours. Le second mode est d'une application plus facile et moins onéreuse, mais peut-être moins efficace quand le terrain humide a une grande épaisseur.

La comparaison des deux procédés est complétée par le tableau suivant avec cette observation, que ces travaux exécutés pendant la marche des trains — la ligne n'était qu'à simple voie — sont beaucoup plus coûteux que s'ils étaient faits avant la pose de la voie.

Drainage de la tranchée de Hundshof :

	1. côté droit	2. côté gauche
Longueur des tuyaux d'absorption	400^{m}	360^{m}
» » d'écoulement	600	40
Développement du drainage	1000^{m}	400^{m}
Main-d'œuvre	960^{fr},00	128^{fr},00
Fourniture de tuyaux	200 , 00	80 , 00
Total des dépenses	1160^{fr},00	208^{fr},00
Soit par mètre courant	1^{fr},16	0^{fr},52

En résumé, si le sol est composé d'argile très compacte et résistante, on emploiera ce mode d'assainissement appliqué au côté gauche de la voie dans la tranchée du Hundshof et qui est même préférable aux rigoles remplies de gravier dont nous avons parlé plus haut. Mais, si le sol est très mou, il faudra avoir recours au premier mode, quoiqu'il coûte deux fois plus que l'autre.

Plate-forme en tranchée sur les chemins prussiens. — D'après M. Plessner, le drainage de la plate-forme des tranchées par des tuyaux est préférable à l'assainissement par des rigoles transversales remplies de pierrailles ou de gros gravier.

On donne à ces rigoles, dit-il, 0^{m},30 de largeur et 0^{m},45 de profondeur en les espaçant de 4 à 8 mètres, selon le cas, en les tenant à 0^{m},30 ou 0^{m},60 en dessous de la surface.

Pour une ligne à deux voies leur longueur est de 10 mètres, et 5^{m},50 pour la plate-forme à une voie. Les premières reviennent à 7 fr. 50 les autres à 3 fr. 75.

L'application du drainage longitudinal consiste à placer, dans l'axe de la ligne et en dessous du plafond de chaque fossé, une file de tuyaux de 0^{m},05 au moins de diamètre, enfouis à 1 mètre de profondeur pour les abriter de la gelée : la pente des drains ne doit pas être inférieure à 0^{m},0025.

Les frais de cette opération se résument ainsi, pour 1 mètre courant de plate-forme :

3 mètres de tuyaux en terre.	0^{fr},21
Fouille des fossés	0 , 24
Pose des tuyaux, remplissage, etc.	0 , 13
Faux frais, etc.	0 , 08
Total	0^{fr},66

En comparant l'application de ces deux méthodes d'assainissement à une tranchée de 300 mètres de longueur, on trouve que le drainage à 3 tuyaux coûterait 200 francs environ.

L'assèchement par rigoles transversales et pavage du plafond du fossé, à l'embouchure de chaque rigole, s'évaluerait ainsi :

30 Rigoles à.	$3^{fr},75$	120 fr.
60 mètres de pavage de fossé à .	1,33	80
Dépense totale		200 fr.

Les frais sont donc équivalents pour l'une et l'autre méthode, celle du drainage longitudinal donnant d'ailleurs des résultats bien supérieurs.

Plate-forme en remblai sur la ligne de Coulommiers. — Comme exemple de consolidation de la couronne des remblais, nous citerons encore le procédé appliqué sur la ligne de Coulommiers (fig. 55).

Fig. 55. — Drainage de plate-forme en remblai.

On creuse à l'extrémité des traverses deux rigoles longitudinales, d'environ 1 mètre à $1^{m},50$ de profondeur, avec pentes et contre-pentes; le fond est garni d'une auge en planches goudronnées, remplie de pierres cassées ; le tout recouvert d'une couche de paille puis de ballast.

De chacun des points bas de ces rigoles part une saignée transversale, disposée comme les rigoles longitudinales et débouchant à la surface des talus. On doit surveiller attentivement les ouvertures de ces rigoles, car si elles cessent de donner de l'eau, c'est un indice que les saignées longitudinales sont dérangées par les tassements du remblai qui renversent le sens de l'inclinaison des auges.

Ce procédé est mauvais ; les rigoles en bois s'enfoncent de plusieurs mètres dans le remblai qu'elles contribuent à désorganiser.

Nous extrayons de la notice sur les objets présentés à l'Exposition de 1889 par le service de la voie de la Compagnie de l'Est, les lignes suivantes, relatives aux travaux d'assainissements et de consolidations nécessités par l'établissement de la seconde voie de Gretz à Coulommiers.

Cette ligne, ouverte à l'exploitation en 1862, se développe à partir de Morcef vers Coulommiers sur le flanc des coteaux qui bordent la rive gauche de la vallée du Grand-Morin. Elle a une longueur de 33 kilomètres.

Dans ce parcours elle présente une succession de remblais importants sur des vallées secondaires et de tranchées profondes ouvertes dans les argiles

Fig. 56

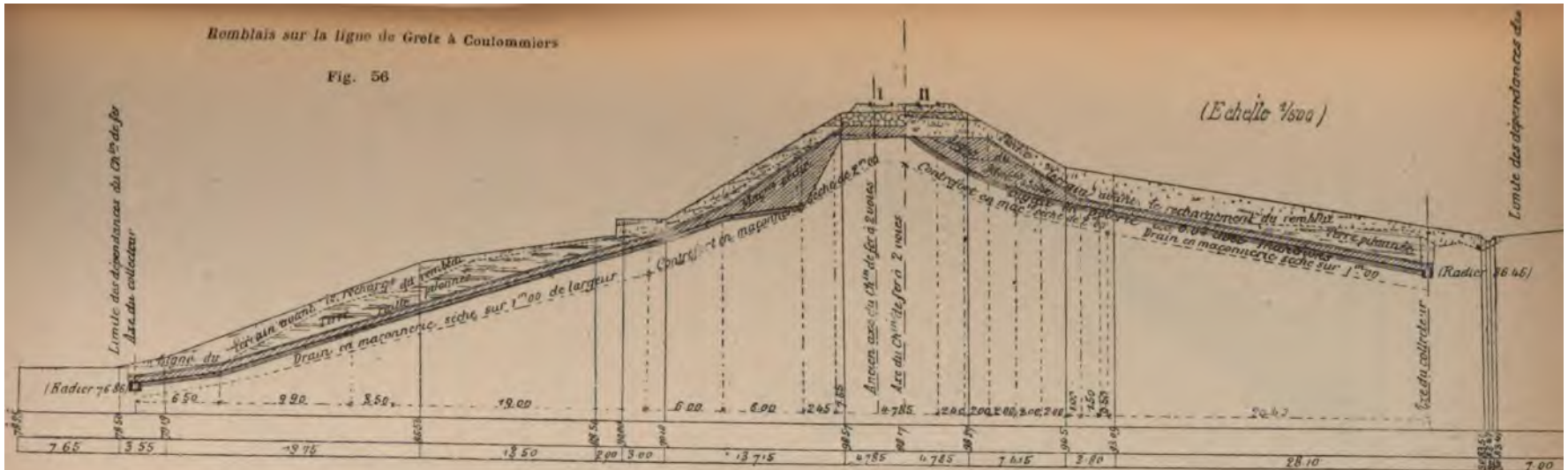

(Echelle 1/500)
Limite des dépendances du Ch.in de fer
Axe du collecteur
Ligne du terrain avant le rechargt du remblai
Drain en maçonnerie sèche sur 1m00 de largeur
Contrefort en maçonnerie sèche de 2m00
Ancien axe du Ch.in de fer à 2 voies
Axe du Ch.in de fer à 2 voies
Drain en maçonnerie sèche sur 1m00
Terre plombée
(Radier 76.86)
(Radier 76.46)
Limite des dépendances du

Fig. 57

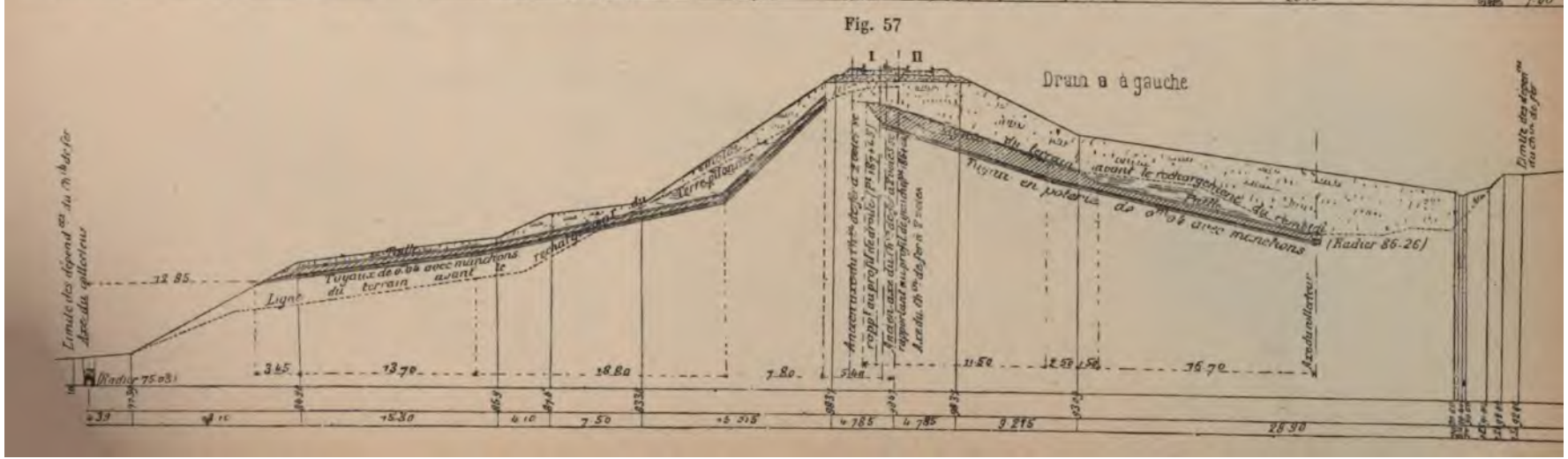

Drain a à gauche
Limite des dépend.ces du Ch.in de fer
Axe du collecteur
Ligne du terrain avant le rechargement
Tuyaux de 0.60 avec manchons
Ligne en poterie de 0m06 avec manchons
(Radier 86.26)
(Radier 75.03)
Ancien axe du Ch.in de fer à 2 voies
Axe du Ch.in de fer à 2 voies
Axe du collecteur

Fig. 58

Contrefort à gauche,

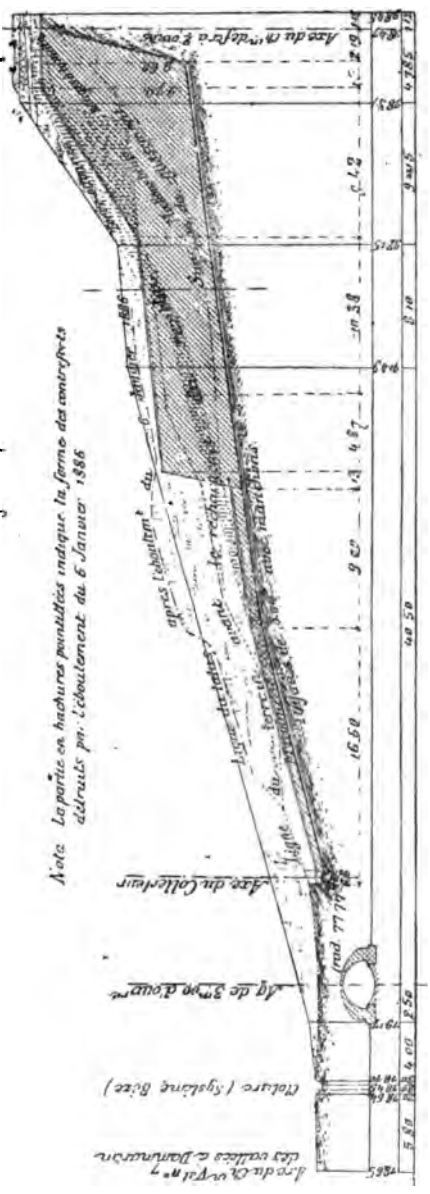
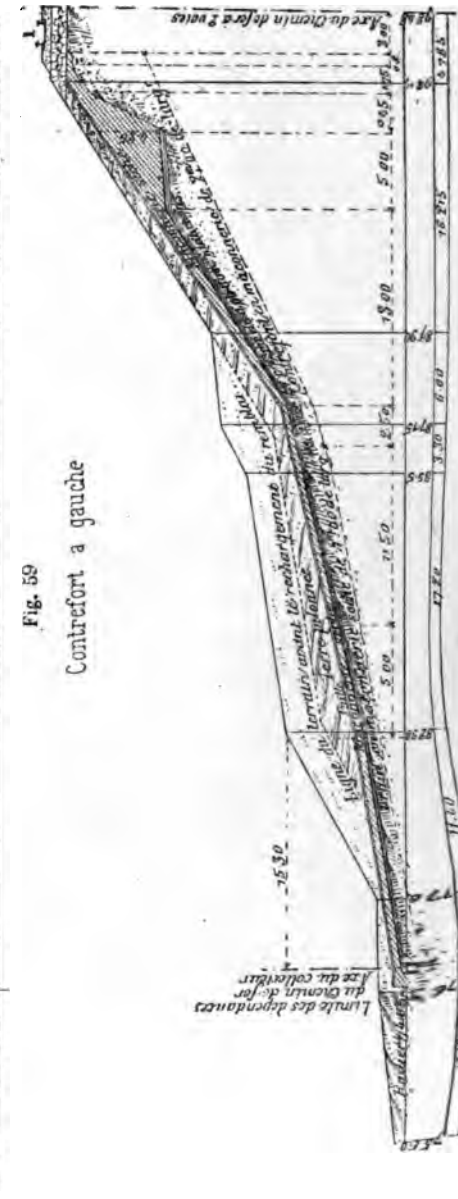


Fig. 59

Contrefort à gauche



Remblais sur la ligne de Gretz à Coulommiers.

blanches et vertes qui recouvrent dans le bassin de Paris l'étage du plâtre.

Ces couches, constituées par des marnes blanches et des argiles d'une couleur verte caractéristique, mêlées parfois de rognons de silex et de noyaux de sable, paraissent avoir subi des glissements et des ondulations vers le fond de la vallée à l'époque où celle-ci a reçu son dernier relief par voie d'érosion (hauts-niveaux de Belgrand).

Il en résulte que les couches sont très changeantes et que, si rapprochés que soient les sondages, on ne connaît bien leur allure que quand elles sont mises à nu par des fouilles.

Dans la première construction, on a mis en remblais les terres fouillées au fur et à mesure de leur excavation sans se préoccuper de faire un triage entre les bons et les mauvais déblais : c'est ainsi que l'on rencontre la terre végétale à la base des remblais, au-dessus des argiles rouges et blanches, enfin des glaises vertes, le tout dans une succession qui apparaît précisément en ordre inverse sur les talus des tranchées profondes.

Les argiles à l'époque des pluies et des dégels en se détrempant et se gonflant provoquaient pendant l'hiver dans les tranchées et les remblais des éboulements périodiques, de sorte qu'en cette saison, certains points de la ligne restaient d'une stabilité précaire malgré les consolidations exécutées à l'origine et postérieurement.

C'est dans cette situation qu'il fut décidé d'élargir la plate-forme pour poser une seconde voie et d'adoucir les déclivités du profil en long qui, combinées avec la raideur des courbes dépassaient le chiffre de 9 millimètres, limite imposée pour le passage des trains de 450 tonnes à double traction sauf dans les courtes rampes franchissables par élan.

Tout en modifiant le profil par l'enfoncement des tranchées et le relèvement des remblais tout en créant la plate-forme de la deuxième voie, il a fallu constamment maintenir en exploitation la voie unique et la protéger contre les éboulements.

Elle a subi de nombreux ripages et l'on a dévié l'axe tantôt à droite, tantôt à gauche en portant l'élargissement des remblais autant que possible à droite et celui des tranchées à gauche.

L'abaissement maximum de la plate-forme a été de $4^{m},93$ dans la tranchée de Mortcef et le surhaussement maximum de $3^{m},41$ sur le remblai de l'Aubetin.

Avant d'exhausser les remblais il était de toute nécessité de les rendre capables de porter la surcharge ; de même on ne pouvait évaser et enfoncer des tranchées ouvertes dans les terrains ci-dessus décrits sans les assainir et prévenir le retour des éboulements.

Il en est résulté d'importants travaux d'assainissement et de consolidation qui font l'objet de la description suivante :

Des travaux de consolidation.

Les travaux les plus importants se trouvent situés entre la halte de la Houssaye et la gare de Coulommiers éloignées l'une de l'autre de 20 kilomètres.

Remblai de la Touffe. — Sur le remblai de la Touffe, séparé de celui de Mortcef par le viaduc des Vallées commence une déviation à gauche de l'ancien axe. En même temps une partie de la pente de $0^m,01$ a été remplacée par un palier sur toute la longueur de ce remblai ce qui a donné un relèvement maximum de $2^m,68$ de l'ancienne plate-forme.

Comme le remblai de Mortcef il avait été formé lors de l'établissement de la première voie, de déblais médiocres ; les éboulements y étaient fréquents.

Pour assainir l'ancien noyau et lui donner la force de résister au poids de la surchage, un ensemble de contreforts et de drains avaient d'abord été exécutés en 1885.

Il consistait à gauche en 26 épis de 2 mètres de largeur espacés de 8 mètres d'axe en axe descendant dans le massif du remblai jusqu'à 7 mètres de profondeur. Sur le côté droit un autre groupe de 8 contreforts et de 11 drains de 1 mètre de largeur avait été établi. Chaque rangée débouchait dans un collecteur éloigné du pied du talus.

En outre il n'avait été amené pour constituer le surhaussement que des déblais exclusivement pierreux.

Ces divers travaux paraissaient suffisants quand un premier éboulement survint à la suite de fortes pluies le 5 janvier 1886 sur le côté droit au piquet 185 + 10 mètres. Il fut suivi d'un second le 6 janvier à gauche vers le piquet 185 + 75 mètres. Tous d'eux mettaient la voie d'exploitation en péril. Dans ce dernier éboulement, neuf des premiers contreforts avaient été disloqués et s'étaient effondrés bien que fondés à 7 mètres en contrebas de la plate-forme. Les sondages révélèrent une surface de glissement à une très grande profondeur.

Les contreforts ont alors été repris enracinés jusqu'à 12 mètres de profondeur environ, bien au-dessous des surfaces de glissement reconnues. Leur effet a été renforcé par une large banquette faite des débris de l'éboulement que l'on a étendue jusqu'à la clôture vers le chemin vicinal de Mortcef à

Saint-Avoye. Le dessus de cette banquette a été dressé avec soin, couvert de terre végétale et semé.

Cinq autres petits éboulements se sont produits d'octobre 1886 à mars 1887.

Ils ont été vidés et remplis de déblais pierreux après assainissement préalable à l'aide de drains.

L'éboulement de droite du 5 janvier 1886 a été consolidé par la restauration des contreforts et des drains disloqués et par une large banquette en pente très douce formée d'argile à jeter en dépôt.

Tranchée de Coubertin. — La tranchée de Coubertin est ouverte dans l'argile verte, la marne blanche apparaît au bas et sous la plate-forme.

En cours d'abatage il a fallu adopter l'inclinaison de 2 de base pour 1 de hauteur et commencer aussitôt les consolidations.

Elles étaient en bonne voie quand un éboulement considérable par le volume de la masse détachée se produisit le 2 novembre 1885. Les surfaces de glissement étaient très profondes.

Pour alléger la masse en mouvement un décapement de la partie supérieure du talus dut être immédiatement exécuté à l'emplacement d'un chemin latéral projeté.

On commença ensuite 19 contreforts vigoureux de $2^{m},50$ de largeur et de profils variables s'adaptant à l'entonnoir formé; leur fouille exigea des boisages jointifs considérables et un mode d'évacuation particulier, du produit des fouilles à l'aide d'estacade et de porteurs Decauville.

43 contreforts ordinaires de $1^{m},50$ de largeur espacés de 5 mètres en 5 mètres, ont été répartis sur le reste de la tranchée.

Tous versent leurs eaux d'assèchement dans un collecteur profond aboutissant à un aqueduc de 1 mètre.

Un groupe de voûtes renversées de la première construction a été conservé et englobé dans cet ensemble.

Des pierrées profondes alternant avec des pierrées ordinaires débouchant dans le collecteur assèchent la plate-forme. Un fossé de crête maçonné reçoit les eaux du chemin latéral et du côteau de droite.

Système de consolidation par contreforts. — Pour consolider les talus on a appliqué dans les parties que les éboulements antérieurs et de nouveaux sondages avaient signalé comme dangereuses des séries de contreforts en maçonnerie sèche quand il s'agissait d'épauler les terres, et de drains en pierrailles quand il s'agissait simplement de les assécher.

Le système de consolidations par contreforts préconisé depuis longtemps par l'éminent directeur de la construction de la Compagnie de l'Est, M. Ledru, a fait ses preuves sur plus d'un point de son réseau.

Son effet utile s'explique facilement si l'on se figure qu'un groupe de contreforts enfoncés côte à côte dans le talus d'un remblai ou d'une tranchée, joue le rôle de mur de soutènement à parement très incliné qui serait interrompu à intervalles réguliers.

Plus le danger d'éboulement est sérieux et plus la masse à épauler est lourde, plus les contreforts doivent être épais, rapprochés et enracinés profondément.

Les contreforts agissent par leur masse et très efficacement aussi par l'aération interne qu'ils produisent et la dissécation qui en résulte.

Dans les travaux de consolidation dont il s'agit, l'épaisseur des contreforts mis en œuvre varie de $1^m,50$ à 2 mètres ; rarement elle va jusqu'à $2^m,50$; les intervalles qui les séparent vont de 5 à 8 mètres. Leur profondeur dépasse toujours la surface de glissement prévue ou constatée. La configuration de celle-ci ainsi que le poids des terres menaçant de s'affaisser et qu'il s'agit de maintenir sont les guides à suivre pour déterminer la silhouette des contreforts, qui non seulement varie d'un bout à l'autre d'un même groupe mais d'une tranchée à la suivante, d'un remblai à un autre, ainsi que leurs dimensions et leurs intervalles.

Par économie les contreforts volumineux ont été constitués par un blocage rangé à la main ; les moindres moellons devant avoir au moins $0^m,12$ dans tous les sens ; le front seul a été exécuté en maçonnerie sèche.

Au fond de chaque contrefort on a placé un tuyau de terre cuite protégé par un petit sabot en pierre brute et tous ces drains ont été prolongés jusqu'à un conduit souterrain établi parallèlement au pied du talus.

Collecteurs. — On désigne ainsi les conduits souterrains auxquels aboutissent les drains des contreforts

Pour les remblais, il faut les établir aussi loin du pied de chacun des talus que le permettent les emprises.

Dans les tranchées ; on les a enfoncés de chaque côté à peu près à l'aplomb de la banquette du ballast et à une profondeur d'environ 2 mètres.

Ces collecteurs sont de simples aqueducs en maçonnerie sèche d'une section qui a varié de $\frac{0^m,30}{0^m,50}$ à $\frac{0^m,40}{0^m,60}$, suivant l'abondance des eaux à débiter.

Il est bon de donner au collecteur quand il est étendu une section qui va en grandissant de l'amont à l'aval.

Autrefois leur section usitée ne dépassait pas $\frac{0^m,15}{0^m,20}$. On s'est attaché à ne pas descendre au-dessous des dimensions ci-dessus en vue de provoquer dans les conduits une large circulation de l'air qui paraît être un facteur de l'assèchement aussi puissant que l'adduction des eaux intérieures.

Par raison d'économie et de rapidité dans un certain nombre de tranchées notamment dans celle de Mortcef dont la longueur et l'abondance des eaux souterraines, captées sous la plate-forme, amenées par les drains transversaux, et par ceux des contreforts exigeaient un large collecteur, on a substitué la maçonnerie sèche des tuyaux en ciment comprimé à sec.

Tuyaux en ciment comprimé à sec. — Deux types comme grandeur ont été mis en œuvre.

Le plus grand a été fabriqué spécialement pour la tranchée de Mortcef. Les tuyaux sont percés de trous enveloppés de pierrailles et enfoncés profondément ($1^m,80$) au-dessous de la plate-forme parallèlement aux fossés et à 4 mètres environ du nouvel axe. Ils reçoivent, d'un côté, les drains des contreforts, de l'autre, les drains profonds qui assèchent le sous-sol de la plate-forme.

L'assainissement de celle-ci est complété par des pierrées de surface, qui débouchent dans le fossé et par un hérisson formé de dalles brutes posées à plat. En outre l'épaisseur du ballast a été renforcée.

Cet ensemble constitue un type d'assainissement pour plate-forme de voie ferrée en tranchée argileuse que l'on rencontre rarement à un degré aussi complet et qui a radicalement supprimé toutes les déformations que la voie subissait pendant l'hiver.

Les collecteurs doivent être mis à l'abri des eaux pluviales de surface, autrement ils s'obstrueraient rapidement par les vases qu'elles charient. A cet effet, les dalles des collecteurs des remblais ont été recouvertes de paille ou de mousse sur laquelle on a regalé et pillonné une couche d'argile plastique. Le peu d'eau qu'elle laisse passer se filtre sur la paille ou la mousse et pénètre purifiée dans le collecteur.

Dans la tranchée de Mortcef, le fossé a été rendu imperméable par un revêtement maçonné qui s'imposait d'autre part, si l'on voulait éviter les corrosions qu'auraient provoquées les eaux d'orage descendant une pente de $7^{mm},4$ sur une longueur de $2^m,147$.

Il est bon d'espacer sur les collecteurs de 100 en 100 mètres au moins, des regards qui facilitent la vérification de leur fonctionnement et permettent la

descente d'un jeune ouvrier pour le curage, lorsque la section du collecteur le permet, ce qui est le cas à Mortcef.

Les tampons prévus en pierre de taille pour fermer les regards, ont été remplacés par des tampons en tôle munis de bords saillants de quelques centimètres entre lesquels on répand du gravier qui affleure la banquette et empêche les piétons qui la suivent de glisser.

Banquettes de consolidation aux pieds des remblais. — Pour la consolidation des remblais il n'est pas toujours nécessaire de jeter en dépôt les argiles de mauvaise nature extraites des fouilles. Plus la qualité des terres qui doivent former un remblai laisse à désirer, plus large doit être son empâtement. On a dans le cours des travaux suspendu la mise en dépôt des argiles pour les employer à élargir le pied des principaux remblais en constituant des banquettes où évasements de forme parabolique d'une pente très douce tels que ABC du croquis ci-dessus.

On ne disposait pas du terrain nécessaire le long et à droite du grand remblai de Génevray et pour se le procurer au pied du remblai de Mortcef on n'a pas reculé devant l'acquisition d'une emprise supplémentaire.

La consolidation due à ces banquettes est très réelle et complète bien celle des contreforts. Si les argiles dont on dispose sont molles il est prudent de couper par des pierrées transversales les banquettes et de leur donner un fort empâtement.

37. — Assainissement de la plate-forme des stations. — Quand le sol de la plate-forme est composé d'argile compacte ou d'autres matières imperméables, les eaux s'accumulent dans le ballast là où la voie est bordée par les quais d'une station, ou lorsque l'étendue de la gare ne permet pas de donner aux eaux de pluie un écoulement immédiat.

Le mode d'assainissement appliqué à la station de Walbourg, qui se trouvait dans l'un des cas indiqués plus haut, ne laisse rien à désirer.

La longueur des quais de cette station en tranchée est de 80 mètres. On a placé le long et contre les quais, ainsi qu'entre les deux voies, trois rangées de tuyaux débouchant à chaque extrémité dans un collecteur qui se rend aux fossés.

Le point culminant des trois files se trouve dans l'axe du milieu de la longueur des quais et au niveau de la plate-forme, ce qui donne aux tuyaux une pente de $0^{m},002$.

La dépense de ce travail est très minine, ainsi qu'il résulte du résumé ci-dessous.

Longueur du drainage	3 files longitudinales. . .	270^{m}	300^{m}
	2 collecteurs	30	
Dépense.	Fournitures	60^{fr}	90^{fr}
	Main-d'œuvre	30	
Soit par mètre courant			0^{fr},30

Gare de Wissembourg. — La gare de Wissembourg, commune aux chemins de fer d'Alsace-Lorraine et du Palatinat bavarois, occupait une surface de plus de 8 hectares et comptait environ 8.800 mètres de voies lorsque des difficultés se présentèrent pour fournir aux eaux de pluie l'écoulement convenable.

On a d'abord construit un égout pouvant desservir les principales dépendances de la gare, et qui, avec ses diverses branches, a un développement de 836 mètres, sur une section de 0^{m},60 de largeur et une hauteur variant de 0^{m},60 à 1^{m},20 (fig.60).

Fig. 60.— Égout général dans une gare.

Indépendamment de cet égout, on établit encore un système général de drainage déversant ses eaux dans l'égout et les fossés qui entourent la gare. Toutes ces précautions ont donné de bons résultats. Mais dans l'hiver de 1855-56 et quand les gelées de longue durée eurent pénétré à une grande profondeur, le sol devint imperméable, et le drainage fut impuissant pour évacuer les eaux provenant des dégels partiels. Il en résulta que les eaux s'accumulèrent sur certains points, principalement aux embranchements des changements et croisements de voie. Pour les faire disparaître, il suffit de forer, de distance à autre, des trous de 0^{m},20 de diamètre; pénétrant à travers la couche de terrain non dégelé, pour atteindre le terrain perméable et le système de drainage.

Gare du Mans. — La majeure partie de ces voies, bien que posées sur remblai, occasionnaient de grandes dépenses d'entretien par suite de l'humidité du sol sur lequel on les avait établies, et du défaut d'écoulement des eaux de pluie, défaut qui se faisait sentir malgré le développement important des égouts.

La Compagnie s'est décidée à drainer la surface sur les points où les voies n'avaient pas une assiette convenable.

Un drain a donc été placé entre chacune des voies à assainir (fig. 61), les tuyaux posés à $0^m,60$ au-dessous de la plate-forme, le développement atteint 4.400 mètres de drains simples et 400 mètres environ de collecteurs. Ces travaux ont rempli complètement le but proposé, et, moyennant une dépense relativement minime, ont produit une économie considérable dans les frais d'entretien journalier.

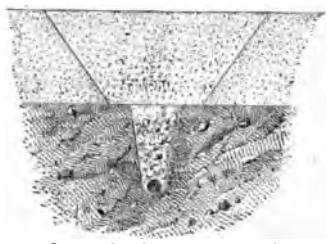


Fig. 61. — Drainage de plate-forme de gare.

Cette dépense peut s'établir ainsi :

Drains ordinaires (voir les sous détails)	4400^m	à $1^f,90$ =	8360 fr.
Collecteurs — d° —	400	à 2,24 =	896
Raccordement des drains avec les collecteurs (faits en ciment), environ . .	100	à 0,25 =	25
Décharges, regards, dépenses diverses et imprévues.			719
Dépenses totales			10000 fr.

Le tableau suivant donne, pour chaque opération et pour chaque espèce de fourniture, le détail des prix de main-d'œuvre, transport, acquisition, etc. Ces prix sont essentiellement variables, puisqu'ils dépendent de nombreux éléments variables eux-mêmes. Mais en appliquant les prix élémentaires, propres à chaque localité, aux quantités portées au projet, dans l'ordre indiqué au tableau, on se rendra un compte exact des dépenses nécessitées par un drainage analogue à celui dont nous donnons la description.

DÉSIGNATION des OUVRAGES	NATURE DES TRAVAUX	Sous-détails	Prix partiels	Prix de l'unité
		fr. c.	fr. c.	fr. c.
Un mètre courant de drains.	Fouille dans le ballast (1 mètre cube) .	0,25		
	Jet de pelle pour dépôt (1 mètre cube).	0,10		
	Reprise pour garnissage (1 mètre cube)	0,10		
	Garnissage (1 mètre cube).	0,15		
	TOTAL . .	0,60		
	Soit pour $0^{m3},63 = \left(\frac{1,50 + 0,60}{2} \times 0,60\right)$ cube moyen d'un mètre courant de drains	0,378		
	Pour embarras des voies	0,022		
	TOTAL POUR FOUILLE DU BALLAST	. . .	0,40	
	Fouille en rigole dans le remblai y compris jet sur berge (1 mètre cube) . .	1,00		
	Charge en brouette et transport à un relai (1 mètre cube).	0,25		
	Transport du premier à un second relai (1 mètre cube).	0,15		
	Charge en tombereau et transport à une distance moyenne de 200 mèt. (1^{m3}).	0,60		
	TOTAL POUR 1 MÈTRE CUBE.	2,00		
	Soit pour $0^{m3},15 = \left(\frac{0,35 + 0,15}{2} \times 0,60\right)$ cube moyen de fouille de remblai pour un mètre courant.	. . .	0,30	
	Tuyaux de drainage de $0^{m},055$ de diamètre intérieur à raison de 0 fr. 052 l'un; achat, chargement en fabrique, transport, déchargement, brouettage et dépôt à la main sur le bord de la la tranchée, $3\frac{4}{10}$ de tuyau au mètre pour 1 mètre courant	0,18		
	Couvre-joints pour 1 mètre	0,07		
	TOTAL POUR 1 MÈTRE DE TUYAU.	. . .	0,25	
	Achat de la pierre de $0^{m},06$ de diamètre et transport au pied des tranchées (1 mètre cube).	4,50		
	Emploi dans les tranchées (1 mèt. cube)	1.50		
	TOTAL . .	6,00		

DÉSIGNATION des OUVRAGES	NATURE DES TRAVAUX	Sous-détails	Prix partiels	Prix de l'unité
			fr. c.	fr. c.
Un mètre courant de drains	Soit pour $0^{m3},75$, cube moyen pour 1 mètre courant	. . .	0,90	
	Pose des tuyaux y compris le nivellement dans le fond de la tranchée. .	. . .	0,05	
	PRIX TOTAL PAR MÈTRE COURANT.	. . .	. . .	1,90
Prix d'un mètre courant de collecteur.	Fouille dans le ballast, même cube et même prix que pour les drains. . .	. . .	0,40	
	Fouille en rigole dans le remblai (même prix que pour les drains) $\frac{0,35+0,15}{2} \times 0,75 = 0^{m3},187$ à 2 fr.	. . .	0,37	
	Pierrée, même prix que pour les drains $0^{m3},187$ à 6 francs	. . .	1,12	
	Tuyaux de 0,080 à raison de $3\frac{4}{10}$ le mètre courant.	. . .	0,28	
	Pose des tuyaux y compris le nivellement au fond de la tranchée . . .	. . .	0,07	
	PRIX TOTAL D'UN MÈTRE COURANT.	. . .	. . .	2,24

38. — Paraneiges. — Il est difficile de déterminer *à priori*, sur une ligne nouvellement construite, les points où se produiront le plus fréquemment des accumulations de neiges pouvant entraver le service. On ne parvient à connaître les endroits les plus exposés, et à prendre les mesures les plus efficaces, qu'après plusieurs années d'observation (251).

L'expérience a démontré que les points où les vents trouvent un obstacle donnent principalement lieu aux encombrements ; que les tranchées de faible profondeur s'enneigent beaucoup plus souvent que les tranchées profondes ou boisées ; et que les accumulations de neige se produisent toujours dans des endroits déterminés, soit à cause de la configuration de la localité, soit par l'action de certains vents régnants.

Sur les chemins bavarois de l'Alpe-Souabe, les embarras de neige les plus sérieux sont ceux qui se produisent quand le vent *(le Vœhne)* souffle avec

force de l'ouest. Les tourmentes de neige, état que les allemands appellent *schnee-wehen*, arrivent généralement dans les mois de février ou mars, et plus fréquemment entre dix et onze heures de la nuit. Quelques tranchées sont assez bien protégées par des plantations de sapins, d'autres au moyen de paraneiges en planches, de levées en terre établies à une certaine distance de la crête des talus et du côté d'où vient le vent. Les remblais eux-mêmes ne sont pas exempts des enneigements; près de Geislingen, un remblai de 15 mètres de hauteur, que les neiges envahissent souvent, est défendu par des plantations sur les talus.

Dans la traversée du Karst, situé à l'extrémité méridionale du chemin de Vienne à Trieste, vers l'Adriatique, les encombrements se produisent sous l'action d'un vent très violent venant du nord-est, *la Bora*. Ce vent varie quelquefois depuis le nord jusqu'à l'est; il affecte même en un instant et sur certains points très rapprochés deux et quelquefois trois directions notablement différentes. L'aridité du sol ne permettant pas d'élever des plantations, la ligne est défendue au moyen de paraneiges de 5 à 6 mètres de hauteur en planches A, ou mieux en vieilles traverses B, destinées à être remplacées par des écrans définitifs en maçonnerie C (fig. 62). Ce remplacement n'a lieu que lorsque l'on a reconnu l'efficacité des premiers paraneiges en bois. Ceux-ci devenant disponibles, servent alors à faire plus loin d'autres essais. Sur

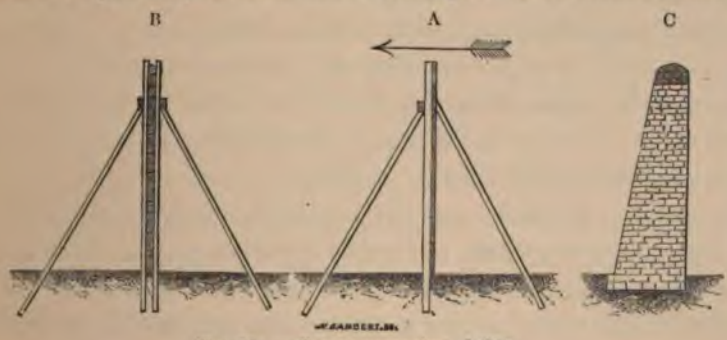


Fig. 62. — Ecrans-paraneiges 1/200.

quelques points où le mur exécuté ne suffit pas complètement, on se propose de le doubler par un second mur parallèle et à une certaine distance du premier.

L'action des paraneiges est d'ailleurs facile à comprendre :

Si le vent est faible et de peu de durée, l'écran arrête la neige qui tombe du côté du vent; il se forme en avant et au pied de l'écran un petit prisme de neige.

Si le vent est violent et persistant, le prisme finit par atteindre la crête ; la neige, passant de l'autre côté, se dépose au pied du paraneige (fig. 63),

Fig. 63. — Effet des paraneiges 1/500.

dans un milieu relativement tranquille, et n'arrive que rarement jusqu'à la voie. Mais pour atteindre le but proposé, il faut que les écrans ne soient pas trop rapprochés de la crête des talus, car les tranchées sont exposées à être coupées par le talus de la neige qui se dépose derrière l'écran.

On place ordinairement les écrans paraneiges parallèlement à la voie. C'est la meilleure disposition, surtout pour les chemins qui traversent des plateaux en suivant une direction perpendiculaire à celle des vents régnants et qui, s'ils sont en tranchée, sont plus exposés que d'autres aux encombrements. On a remarqué, par exemple, que les lignes tracées sur le penchant des montagnes s'enneigent plus rarement que les précédentes. Si le vent prend les tranchées en biais, on termine les écrans par des retours obliques. Le retour d'amont vient jusqu'au bord de la tranchée, et le retour d'aval renvoie le courant de neige longitudinal et le détourne de la voie.

Les tranchées enfilées par le vent s'enneigent rarement ; pour celles qui sont en courbe, il faut livrer une issue au courant en pratiquant une brèche dans le talus concave à l'origine de la courbe.

Pour préserver la voie en pays de montagnes, lorsqu'elle est établie au fond d'une gorge étroite, sur le flanc de coteaux à pic, ou enfin dans la région des avalanches, on peut : à l'emplacement connu des avalanches, construire des tunnels en maçonnerie, surmontés d'un plan incliné ; aux endroits où la gelée désagrège les rochers et détache des fragments mêlés de glaçons qui pourraient rouler sur la voie, on établit des digues en terre ou en charpente et maçonnerie ; enfin on combat les amoncellements de neige dus à l'effet des vents au moyen de plantations ou de parois en planches.

Tout en cherchant à préserver la voie des embarras extérieurs, il ne faut cependant pas créer un autre genre d'embarras ; le patinage des roues. C'est ce qui est arrivé au chemin Fell du Mont-Cenis. Pour échapper aux encombrements de la voie, on a multiplié les galeries ; mais dans ces galeries le

passage des machines entretient une atmosphère chargée de vapeurs dont la condensation fait patiner les roues, ce qui oblige à diminuer considérablement le tonnage et la vitesse des trains.

M. Nordling, ingénieur en chef à la Compagnie d'Orléans, résume ainsi, dans une note sur les amoncellements de neige, les moyens de soustraire autant que possible la nouvelle ligne du Cantal à ses influences.

En vue de diminuer la formation des combles :

Tenir la plate-forme plutôt en remblai qu'en déblai, et éviter autant que possible les très faibles tranchées ;

Employer le personnel des travaux, pendant les trois hivers au moins qui précéderont l'ouverture de la ligne, à observer et à étudier le régime des neiges et des vents à l'emplacement de chaque tranchée ; déterminer en conséquence la disposition des plantations et des écrans provisoires et procéder en temps utile à leur exécution ;

En vue de cette éventualité, éviter ou écarter les chemins latéraux parallèles aux tranchées, surtout du côté d'amont, par rapport au vent régnant.

Eviter les tranchées à flanc de coteau les plus exposées et aplatir certains talus de déblais, plutôt que d'ouvrir des chambres d'emprunt spéciales.

Pour faciliter le travail des chasse-neiges :

Augmenter la largeur des tranchées en rocher ;

Supprimer les trottoirs des stations situées vers les points exposés ;

Enfin, pour faciliter le travail de la pelle :

Supprimer les parapets et les remplacer, sur les viaducs et les murs de soutènement, par de simples lisses.

En exécutant des haies à neige, dit M. Plessner, on se propose de transformer les petites tranchées en d'autres plus profondes, parce que l'on croit avoir remarqué que ces dernières s'enneigent moins que les autres. A vrai dire, la masse absolue de neige tombant dans deux tranchées de profondeur différente est la même, peut-être même plus grande dans la plus profonde, parce que la lutte de la tourmente de neige avec les couches d'air tranquilles de l'intérieur de la tranchée dure plus longtemps et, par suite, occasionne un plus grand dépôt de neige ; mais, d'un autre côté, cette neige peut se déposer sur de plus grands talus, n'atteint la voie qu'au bout d'un temps assez long et souvent sans entraver la circulation.

On comprend alors que quand on établit des paraneiges, haies ou cavaliers, il faut ménager entre ces appareils et la voie un espace suffisant pour que la neige puisse s'y déposer.

Dans les tranchées qui n'ont pas plus de $1^m,20$ de profondeur, il est plus avantageux, plus économique même, d'acheter une zone de terrain suffisante pour donner aux talus une base de 4 à 5 pour 1, et de déposer les déblais en arrière sous forme de cavaliers de $0^m,30$ à $0^m,60$ de hauteur (fig. 64 *b*). Les

Fig. 64. — Enneigement des tranchées.

dépôts de neige dans les tranchées et les chemins creux sont, comme on sait le résultat d'un courant d'air troublé dans sa marche. Le tourbillon de neige cherche à déplacer les couches d'air tranquilles ou moins agitées dans les tranchées, et, par suite, s'infléchit et se dilate vers le bas ; il laisse déposer une partie de la neige et va frapper le talus opposé, qui le renvoie au dehors sous l'angle d'incidence.

Cet effet se reproduit, quand le tourbillon possède une assez grande intensité, jusqu'à ce que toute la tranchée soit remplie, ce qui n'arrive que très rarement par le fait de la tourmente.

La partie *a* de la figure 64 représente une tranchée à talus roides où la neige s'amoncelle, et la partie *b*, le mode de dépôt de la neige avec talus aplatis.

On doit faire, pour de petites tranchées, des talus très plats (fig. 64 *b*).

Pour préserver les tranchées profondes, on emploie avec succès des haies de $1^m,60$ formées de fagots ou broussailles maintenues par des fils de fer et placées à une distance de 5 à 7 mètres de la crête des talus.

Ces dispositions ne sont en général nécessaires que du côté du vent ; on ne les applique des deux côtés que dans les courbes de très petit rayon.

Dans les tranchées peu profondes, l'aplatissement d'un des talus, comme nous l'avons indiqué, revient à 1 fr. 40 environ (chemins prussiens). On peut compter 1 fr. 60 par mètre courant de haies à neige, le terrain supplémentaire non compris. Il faudra moyennement 6 mètres carrés de terrain par mètre courant de paraneige. Quand le terrain est acquis pour deux voies, le chemin n'étant encore construit que pour une seule, l'emplacement de l'autre voie, s'il se trouve du côté du vent pourra compter pour 3 mètres carrés de terrain.

Les paraneiges en haies sèches coûtent 20 pour 100 d'entretien ; il ne faut donc les employer que lorsqu'on en a bien reconnu la nécessité.

Pour évaluer les dépenses occasionnées par l'installation des paraneiges, il y a donc lieu de déterminer :

La longueur des différentes tranchées de $0^m,30$ à $1^m,20$ de profondeur ; leur position par rapport au vent ; celles qui nécessitent l'aplatissement d'un talus seulement (et lequel?) ; les tranchées dont on doit aplatir les deux talus ;

La longueur des tranchées de $1^m,20$ à 6 mètres de profondeur où il y a lieu d'établir des paraneiges, en tenant compte jusqu'à un certain point de la seconde voie dans le cas où le chemin ayant été construit pour deux voies, une seule est en exploitation.

M. Muntz a décrit dans le journal l'*Ingénieur* plusieurs moyens qu'on peut employer pour se garantir en grande partie de l'accumulation des neiges mouvantes :

Le moyen le plus efficace qu'on emploie pour garantir les points les plus exposés consiste dans l'élargissement de la tranchée par la création d'une banquette de $2^m,50$ à 4 mètres de largeur, établie du côté des vents dominants ; de plus, dans la construction d'un cavalier de $1^m,20$ à $1^m,50$ de hauteur et élevé à une certaine distance de la crête du talus.

Ces deux précautions réunies suffisent pour forcer les neiges à se déposer sur les banquettes et à n'envahir que faiblement la voie proprement dite. L'élargissement de la tranchée présente encore l'avantage de faciliter le passage de la grande charrue à neige, qui, sans cette précaution, comprimerait tellement la masse, qu'elle pourrait difficilement la traverser quand les hauteurs de neige atteignent de 1 mètre à $1^m,20$.

En Bavière, on se contente quelquefois, au lieu de former une banquette, de donner aux talus des tranchées exposées aux neiges mouvantes une inclinaison de 5 de base pour 1 de hauteur, pour conserver aux vents la possibilité de chasser la neige qui se dépose sans cette précaution.

Sur les points où il n'existe ni cavaliers ni banquettes, et où les encombrements se produisent sous l'action des vents forts et continus, on remplace les cavaliers par des clôtures en planches de $1^m,50$ à 2 mètres de hauteur, placées de 7 à 10 mètres en arrière de la crête des talus, ou par des haies vives et des plantations d'épiceas et d'autres arbustes d'une croissance rapide. Ces plantations sont établies sur trois rangs parallèles, si elles ne se font pas en massifs.

Les plantations essayées sur une grande échelle ont rendu de très bons services, dès qu'elles avaient atteint une hauteur de 2 mètres, et les effets obtenus par ces moyens combinés ont été tellement favorables, que la circulation n'a dû être interrompue, même dans les points les plus exposés, que pendant quelques heures et à des époques éloignées de plus d'une année.

Sur le Fichtelberg on s'est contenté de former des haies avec des branches de pins et de sapins dont on pouvait disposer dans la localité, en attendant que les plantations eussent acquis la hauteur nécessaire pour servir d'abri.

On trouvera dans le chapitre VI, § V-259, l'indication des mesures à prendre pour l'enlèvement des neiges, et dans la seconde partie (Chapitre II) la description de charrues à neige.

§ VI.

Chaussées.

39. — Chaussées, voies d'accès, cours de stations. — Un chemin de fer en construction rencontre, sur sa ligne, un nombre plus ou moins considérable de voies de communication qu'il faut maintenir en général, et qui motivent l'exécution de divers travaux à la charge de la Compagnie concessionnaire.

Certains chemins peu fréquentés peuvent être supprimés, quelques-uns modifiés en direction, d'autres maintenus sans changements dans leur situation première. De là résultent suivant la configuration du terrain, tantôt des traversés au niveau des rails, tantôt des passages en dessus ou en dessous de la voie, qui nécessitent la construction d'ouvrages d'art dont les dimensions varient suivant l'importance des communications à rétablir. Enfin, aux abords des stations, on est obligé de créer des voies d'accès et des cours plus ou moins étendues.

Dans tous les cas, l'Administration des Chemins de fer doit rétablir toutes les portions de routes qui se trouvent dans son domaine et qui auront été coupées et modifiées, de quelque manière que ce soit, par la ligne.

Voici pour un chemin de fer secondaire l'analyse des prix d'un mètre courant de rectification de chemins ordinaires de 4 mètres de largeur :

Indemnité de terrain $4^m,00$ superficiels à $80^{fr},00$ l'are	$3^{fr},20$
Terrassements $0^{m3},40$ par mètre courant à $0^{fr},85$	0,34
Pierre cassée à $0^m,06$ pour l'empierrement : $3^m,00$ de largeur sur $0^m,15$ d'épaisseur = $0^{m3},45$ à $3^{fr},45$ y compris l'emploi	1,55
	5,09
Faux frais et bénéfices	0,79
Prix d'un mètre courant d'un chemin de $4^m,00$ de largeur	$5^{fr},88$
Prix d'un mètre superficiel $\frac{5,88}{4}$, soit en nombre rond	1,50

Quant à l'entretien des chemins modifiés, en principe, et sauf de rares exceptions spécifiées à l'avance, le droit commun et l'usage font retomber les charges d'entretien des routes et chemins remaniés à ceux à qui cet entretien incombait antérieurement.

Les cours et avenues des gares, établies pour son service par l'Administration du Chemin de fer, sont entretenues et éclairées par cette dernière, à moins d'une remise régulière aux communes, aux départements ou à l'Etat.

40. — Abords des passages à niveau. — Lorsqu'il s'agit de la construction des chemins de fer de très grande fréquentation, on évite autant que possible les passages à niveau. Tel a été le cas des premiers chemins de fer. Mais pour les lignes secondaires dont la circulation est moins active, on n'établit au contraire des ouvrages d'art que dans le cas où les dispositions locales y conduisent naturellement.

L'établissement d'un passage à niveau comprend ordinairement : l'exécution de la chaussée sur toute l'étendue de la traversée et de ses abords, l'installation de barrières mobiles qui ne permettent aux piétons, aux cavaliers et aux voitures de franchir la voie du chemin de fer qu'à un moment où l'on peut la traverser sans aucun danger ; enfin, dans beaucoup de cas, la construction d'une maison de gardien. Pour tous les passages à niveau, le profil en long de la traversée, ou le profil en travers du chemin de fer, doit être horizontal, non seulement sur la largeur de la plate-forme de la voie, mais encore sur une longueur suffisante de chaque côté, « pour que les voitures venant d'un côté ou de l'autre se trouvent sur un plan horizontal avant que les bêtes de trait du limon n'atteignent les rails [1]. »

Quand la voie charretière est en pente vers le chemin de fer, son profil en long doit être horizontal sur 15 mètres au moins de chaque côté des clôtures de la ligne. Ces prescriptions sont nécessaires pour éviter un arrêt quelconque

[1] Grundzüge fur die gestaltung der Eisenbahnen deutschlands.

sur le passage à niveau, de tout véhicule traversant la voie, ou l'introduction sur la ligne d'une voiture qui serait poussée par l'action de la pesanteur en deçà de la limite tracée pour l'arrêt des véhicules au moment du passage des trains.

D'après les prescriptions des articles 13 et 14 du cahier des charges général des chemins de fer français, le croisement à niveau du chemin de fer et d'une route ne peut s'effectuer sous un angle de moins de 45 degrés, et l'inclinaison des routes aux abords des chemins ne doit pas dépasser 0,03 pour les routes nationales et 0,05 pour les chemins vicinaux de grande communication. L'administration se réserve d'ailleurs le droit de fixer, dans chaque cas particulier, la direction qu'il convient de donner aux chemins déplacés, leurs dimensions, le maximum des rampes et le minimum des rayons des courbes.

La Commission composée d'hommes parfaitement compétents chargée par le Ministre des Travaux Publics d'étudier les moyens de construire, aux moindres frais possibles, les lignes secondaires, avait proposé de réduire à 30 degrés la limite de l'angle de croisement. La loi du 12 juillet 1865 n'a pas introduit cette modification laissée à l'appréciation de l'administration locale.

Ces prescriptions s'appliquent aux parties modifiées des chemins rencontrés, soit qu'ils traversent directement la ligne ou qu'ils la suivent longitudinalement. Ce dernier cas se présente pour des chemins peu importants, détournés de leur direction primitive et assez rapprochés les uns des autres pour pouvoir être réunis sur un même passage. L'axe des chemins détournés est généralement parallèle à celui de la voie. Ils sont séparés du chemin de fer par le fossé et une haie ou une clôture sèche ; il est prudent quelquefois d'adopter, dans ce cas, un système de clôtures offrant une plus grande résistance que sur les autres points de la ligne. En Suisse, cependant, les compagnies se sont contentées d'un fossé et d'une petite levée qui le sépare de la voie charretière. On donne autant que possible à ces routes une inclinaison transversale de 0,03 à 0,05 vers l'extérieur, pour que les eaux ne s'écoulent jamais du côté de la voie.

Tous les terrains nécessaires pour la déviation des voies de communication sont achetés et payés par l'Administration des chemins de fer. Il est de principe, d'ailleurs, que toutes les mesures à prendre et les dépenses à faire pour conserver, sinon améliorer les anciennes conditions de viabilité, restent à la charge des chemins de fer.

Les chemins de desserte ou de défruitement, supprimés ou remplacés par des chemins latéraux, doivent, autant que possible, conserver leur largeur.

Ces déviations de chemins ne laissent pas d'être parfois très onéreuses ; elles entraînent, soit l'acquisition de terrains pour l'assiette du chemin, soit une indemnité pour servitude de passage, souvent la construction de la chaussée avec tous ses accessoires. L'adoption des barrières manœuvrées à distance (109) permet de faire l'économie de tous ces frais sans aggraver les charges du service de gardiennage (Chap. XII).

Sur quelques points considérés comme dangereux par suite de la grande fréquentation du passage ou des nombreuses manœuvres de convois que l'on effectue aux abords des barrières, on établit ordinairemsnt, pour le service des piétons, des cavaliers et même des voitures légères, un passage auxiliaire sous rails, accolé au passage à niveau et relié avec la route par de petites rampes d'accès. L'entretien de la chaussée du passage sous rails et des chemins d'accès, doit après réception, être mis à la charge du service des routes. Nous rappellerons à ce sujet que, après remise faite aux services intéressés l'administration du chemin de fer est exonérée de l'entretien des chemins modifiés, cours, avenues de gares et autres voies nouvelles.

Les dispositions les plus fréquentes que peuvent présenter les abords de passage à niveau sont indiquées par les figures 65, 66, 67, 68, qui s'appliquent à toutes les largeurs des routes.

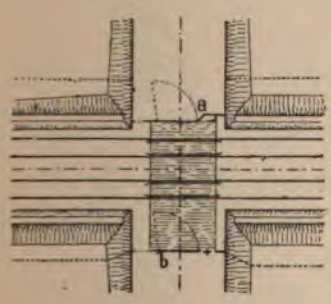


Fig. 65. — Passage droit, peu important, sans maison de garde.

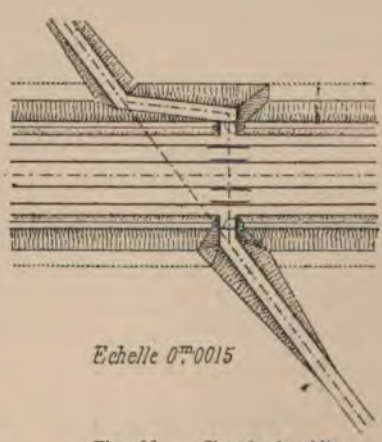


Fig. 66. — Chemin de piéton.

Les passages à niveau sont ordinairement classés d'après la fréquentation des routes auxquelles ils appartiennent.

Nous indiquons plus loin les différents types de barrières de passage à niveau (Chap. IV § III), les conditions d'établissement de la voie sur la traversée (243) et les mesures de service spécial applicables aux passages à niveau de diverses catégories (Chap. XII).

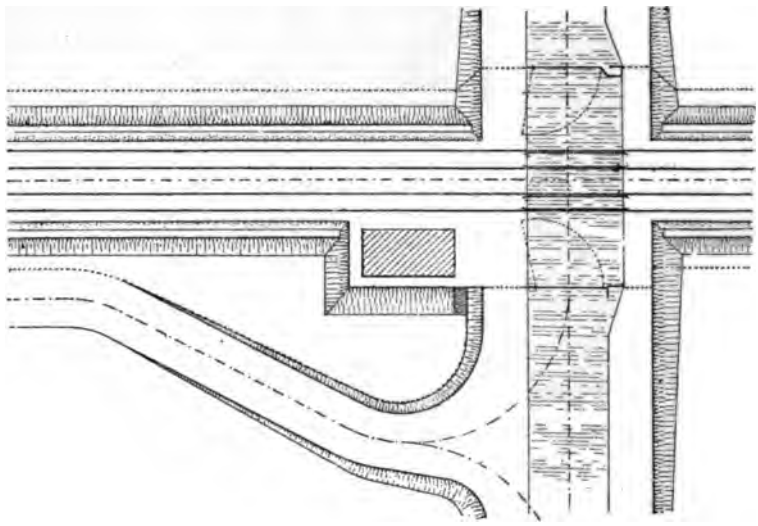


Fig. 67. — Passage droit fréquenté, avec chemin latéral et maison de garde.

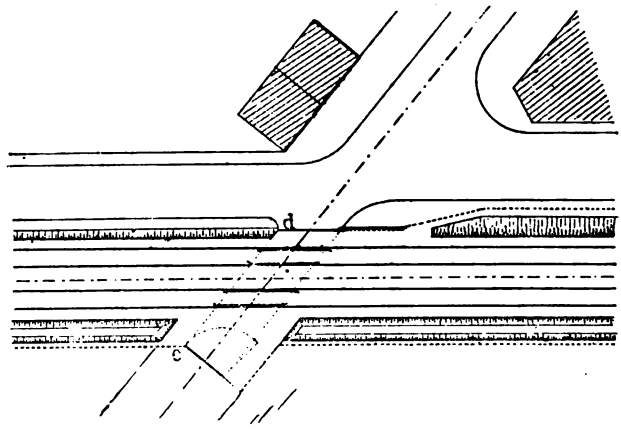


Fig. 68. — Passage oblique, avec chemins latéraux contigus.

41. — Matériaux des chaussées. — Selon les localités et l'importance de leur fréquentation, les chaussées sont ou empierrées ou pavées. Avant de décrire la construction de ces deux genres de chaussées, il peut être utile de passer en revue les matériaux employés dans cette construction.

Les pierres cassées, graviers, cailloux, destinés à la confection des chaussées, doivent toujours être purgés de terre et de toute autre matière nuisible, soit au moyen du rateau, après le cassage, soit par le passage à la claie. Ce sont généralement des pierres très dures, des cailloux roulés, du gros gravier, du quartz, des matériaux siliceux, du porphyre, des grès durs, du silex et du granit, quand le prix du cassage ne revient pas trop cher, des calcaires durs. On peut mélanger ces deux dernières espèces de matériaux.

Toute pierre gélive ou sujette à s'altérer par le mauvais temps doit être rejetée, ainsi que toute pierre friable, si elle n'est pas mélangée avec des matériaux durs et résistants.

Il faut que la grosseur des pierres cassées n'excède pas une certaine dimension ; ordinairement on exige qu'elles passent en tous sens dans un anneau de $0^m,05$ à $0^m,06$ de diamètre. Le cassage se fera toujours hors des lieux d'emploi. On aura soin de trier et rejeter toutes les pierres qui seraient empaquetées de gangue.

L'Ingénieur fera bien de s'assurer par lui-même de la composition des tas de pierres cassées, en les faisant ouvrir jusqu'au centre. Nous avons vu, comme exemple d'une fraude assez fréquente, des détritus recouverts d'une couche de bons cailloux acceptés comme matériaux convenables et qui ont fait conséquemment un très mauvais service, au grand étonnement des agents supérieurs de l'entretien des routes.

Le sable doit être pur, exempt de toute matière terreuse, criant à la main et ne s'y attachant pas, il sera passé à la claie et lavé, s'il est nécessaire. Le sable moyen à employer dans les pavages et mortiers pour béton ne renfermera pas de graviers de plus de $0^m,008$ de diamètre.

Les pavés d'échantillon et les bordures ont les dimensions en usage dans chaque localité. Les gros pavés de grès dur se débitent généralement en cubes de 0,23 ou 0,22 de côté ; ce sont les pavés d'échantillon ou de ville. Les pavés de cours et lieux intérieurs, en roche franche, sont obtenus en divisant en deux ou trois des pavés cubiques de $0^m,22$ de côté ; on a ainsi des pavés de $0^m,11$ ou $0^m,075$ d'épaisseur. A Paris, on emploie maintenant des pavés venant de la Nièvre, et ayant $0^m,10$ sur $0^m,16$ pour côtés de la base ; ces pavés, rendus à Paris, tout taillés coûtent 335 francs le mille ; il en entre 48 dans un mètre carré de pavage. On emploie fréquemment l'échantillon de $0^m,13$ sur $0^m,20$ ainsi que le cube de $0^m,20$ de côté.

En général, la hauteur des pavés est à peu près égale à la plus grande dimension de la base supérieure.

Enfin, on emploie également, à Paris, des pavés en porphyre dit de *Les-*

sines ou de Quenast (Belgique), qui se débitent en trois échantillons : le premier à 0^m10 sur $0^m,16$ de base ; le deuxième $0^m,15$ sur $0^m,15$ et le troisième à $0^m,13$ sur 0^m, 13. La hauteur est au maximun $0^m,16$. Leur prix est pour le premier choix :

1° Échantillon tout smillé.	355	francs le mille.
2° Échantillon brut.	316	—
3° — —	267	—

Pour les pavés de deuxième choix, tous les prix précédents sont réduits d'un huitième. Les pavés de porphyre présentent, à cause de leur dureté, l'inconvénient de se polir par l'usure, et de devenir très glissants. C'est pour remédier à ce défaut qu'on leur donne de petites dimensions, surtout en largeur, et qu'on les sépare par des joints très larges. Les pieds des chevaux trouvent appui dans la multiplicité et la dimension des joints.

Brisés en fragments, les porphyres fournissent d'excellents matériaux pour les chaussées à la Mac-Adam, mais ils coûtent plus cher que la meulière.

Les pavés de la nature du grès prennent une forme cubique, sauf une tolérance de $0^m,02$ au moins pour les côtés de la face inférieure. Pour les bordures, la tolérance est de $0^m,02$ en moins sur la largeur et de $0^m,05$ sur la longueur pour la face inférieure. Les pavés et bordures sont toujours en pierre dure, compacte, sans tension et bien équarris de manière à ne pas donner à l'emploi des joints de plus de $0^m,02$ de largeur.

Dans certains pays où l'on n'a pas de pavés, on emploie de gros cailloux roulés, autant que possible étâtés.

Les pierres pour pavage en blocage, ou pour pavés bâtards, sont de dimensions variables. Les joints des pierres doivent être retournés d'équerre sur $0^m,06$ au moins de distance et le parement de dessous doit avoir au moins les trois cinquièmes de la surface de la tête.

En moyenne, on peut compter sur le prix de 8 à 10 francs par mètre carré de pavage, selon la qualité du pavé du pays et la matière employée pour le hourdis : sable ordinaire, mortier ou ciment.

42. — Chaussées empierrées. — En construisant les chaussées en déblai, on peut exécuter immédiatement le profil définitif des accotements et de l'encaissement ; mais pour les parties en remblai, on forme d'abord un profil de niveau entre les bords extérieurs des accotements. Lorsque le tassement est complètement effectué, on creuse l'encaissement de la chaussée et l'on donne la pente prescrite aux accotements.

La profondeur de l'encaissement varie de $0^m,15$ à $0^m,30$.

Les matériaux destinés à l'empierrement sont convenablement cassés et emmétrés en un seul cordon de $0^m,50$ de hauteur sur l'un des accotements dressé et réglé à l'avance. Puis la forme de l'encaissement convenablement préparée et reçue, on y répand ces matériaux, sans mélange de terre ni de sable, par couches d'environ $0^m,10$ d'épaisseur. Il est bon de placer, autant que possible, les plus petits matériaux à la surface.

Le bombement de la chaussée se règle avec des cerces ayant un profil déterminé. On emploie également des cerces avec fil à plomb pour le règlement des talus en remblais et déblais.

Il est bon de faire tasser les empierrements par le passage répété autant de fois que cela est nécessaire, d'un rouleau de compression pesant au moins 3000 kilogrammes, en arrosant les matériaux pour faciliter le remplissage des vides. On accélère la prise de l'empierrement en le recouvrant, lorsque le tassement est à peu près arrêté, d'une couche de $0^m,02$ de sable ou de détritus.

Cylindrage des chaussées. — Voici les mesures prescrites par l'administration des Ponts et Chaussées, dans l'est de la France pour le cylindrage des chaussées :

On répandra toute la pierre cassée dans l'encaissement de la chaussée, en réglant la surface d'après le profil prescrit. On fera passer ensuite le cylindre à vide, en commençant par les bords de l'empierrement et en se rapprochant insensiblement de l'axe de la chaussée ; cette opération durera une journée.

Quand l'empierrement aura acquis assez de solidité pour que le cylindre à vide ne laisse plus de traces, on remplira le coffre du cylindre aux deux tiers, de moellons ou autres matériaux lourds et l'on recommencera le cylindrage jusqu'à ce que le rouleau ne laisse plus de traces ; on procédera comme la première fois, en commençant par les bords.

On fera ensuite un troisième cylindrage à charge entière, c'est-à-dire en remplissant le coffre du rouleau, de manière que la charge déborde le dessus du coffre, et l'on continuera encore jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de traces du passage du rouleau, et que l'empierrement ne cède plus à son passage.

Cette opération terminée, on pourra permettre le répandage du sable qui sera approvisionné en quantité suffisante pour recouvrir complètement l'empierrement (25 pour cent du cube de l'empierrement).

Fig. 69

Après le répandage du sable, on continuera le cylindrage jusqu'à ce qu'une voiture chargée ne laisse plus de traces sur la chaussée.

Pour un cylindrage d'une certaine étendue, il faut en moyenne, un jour de cylindrage par 100 mètres de chaussée.

Il est indispensable qu'après le cylindrage, deux ou trois ouvriers, munis de dames, soient chargés de veiller avec soin à la conservation de la chaussée et de replacer les pierres que dérangeraient les roues des voitures ou les pieds des chevaux (fig. 69).

43. — Entretien des chaussées empierrées. — Dès qu'une chaussée est livrée à la circulation, commence le travail d'entretien qui consiste à réparer, aussitôt que possible, l'usure et les avaries survenues aux talus, fossés et ouvrages assurant l'écoulement des eaux, garde-corps, etc. ; à maintenir ainsi la route solide et unie, et ses dépendances dans le meilleur état.

Un bon entretien comprend deux séries d'opérations :

L'enlèvement constant des détritus de la chaussée, soit à l'état de poussière, soit à l'état de boue ;

Le rechargement des matériaux destinés à remplacer ceux que la circulation a détériorés.

Quand les détritus de la chaussée se présentent à l'état de poussière, il faut les faire disparaître sans retard par le balayage ; une route bien balayée peut recevoir la pluie pendant plusieurs jours sans qu'il en résulte de dommage ; car c'est la boue principalement qui concourt à la détérioration de la chaussée.

Si la pluie dure un certain temps, la route se couvre d'une couche de boue dont l'épaisseur va toujours en croissant. Il faut l'enlever au plus vite, car elle facilite la formation des ornières, qui, une fois frayées, attirent le passage des roues, dont la circulation prolongée amène rapidement la destruction de la chaussée. On se sert, à cet effet, de racloirs à main ou montés sur un train porté par deux roues, quelquefois de balais en fil de fer ajustés obliquement au bout d'un manche en bois, ou adaptés à deux leviers montés sur une roue.

L'enlèvement de la poussière et de la boue amène nécessairement une diminution dans l'épaisseur de la chaussée, qui serait rapidement réduite à la couche du premier lit, si l'on ne rapportait pas de nouveaux matériaux pour rendre à la chaussée son profil primitif.

C'est par le temps humide qu'il faut faire les rechargements, car les matériaux répandus sur la chaussée pendant la sécheresse ne prennent pas corps, n'ont pas de liaison et se réduisent en poussière.

Il ne faut pas opérer le rechargement en une seule fois ; des recharges successives sont préférables.

Pour y procéder, on enlève soigneusement la boue des ornières, on entaille légèrement les surfaces à recharger, puis on répand les matériaux en plaçant les plus gros au milieu et les plus fins vers les bords ; les intervalles sont remplis avec des vieux matériaux retirés de la chaussée. Le cantonnier doit combler les trous dès qu'ils se présentent. Un répandage général sur une chaussée en circulation ne devient convenable que lorsque la route est rapidement usée ou qu'il y a eu négligence dans l'entretien ; en un mot, que la couche supérieure n'a plus l'épaisseur suffisante et menace de disparaître sur toute une section du chemin. L'emploi du rouleau compresseur est nécessaire dans ce cas.

Dans le Duché de Bade, où les instructions qui précèdent sont soigneusement appliquées, la consommation annuelle des matériaux nécessaires à l'entretien varie, d'après M. Becker, pour une chaussée de 6 mètres de largeur, de 43 mètres cubes à 270 mètres cubes par kilomètre, selon la fréquentation de la route et la qualité des pierres employées.

En France, dans quelques départements, on laisse user les routes de $0^m,06$ à $0^m,08$ d'épaisseur en ne rapportant que le cube des matériaux strictement nécessaires pour maintenir l'uni de la surface afin de procéder ensuite à un rechargement général.

Les cantonniers chargés de l'entretien de la route doivent, en outre, arracher les herbes des bords de la chaussée et du fond des fossés, enlever la neige aussi promptement que possible de la voie charretière et débarrasser de la glace les fossés et ponceaux.

Un bon entretien exige que les matériaux soient approvisionnés en quantité suffisante et en temps voulu ; l'espacement des dépôts peut varier de 30 à 60 mètres (1).

44. — Chaussées pavées. — L'encaissement des chaussées ou canivaux en pavés a ordinairement $0^m,30$ à $0,^m,40$ de profondeur. Quand il est bien dressé, on y répand une couche de sable de $0^m,15$ à 0,25, qui doit être arrosée à grande eau, tassée avec soin et régalée suivant un profil déterminé. On commence alors par la pose des bordures qui doivent être établies suivant les alignements et les pentes déterminés, bien de niveau d'un bord à l'autre, affermies au marteau et garnies de sable dans leurs joints.

Vient ensuite la pose des pavés, qui se fait par rangées droites et d'une largeur uniforme. Ces rangées sont perpendiculaires à l'axe de la route ; les pavés doivent être en liaison de la moitié de leurs parements d'un rang à

(1) Becker, Strassen und Eisenbahnbau.

l'autre et soigneusement garnis de sable. Au fur et à mesure de la construction, on dresse les pavés et les bordures en les battant avec une hie de 18 à 25 kilogrammes, jusqu'à ce que la percussion ne produise plus aucun tassement. Il faut toujours avoir soin de remplacer les pavés qui s'écraseraient ou se fendraient par l'effet de cette main-d'œuvre, et de réparer les flaches qu'elle produirait. Quand le pavage est bien dressé et reçu, on répand à la surface une couche de sable de $0^m,02$ à $0^m,03$ d'épaisseur. Il est bon d'arroser fortement cette couche de sable et de la pousser dans les joints au moyen de petites fiches à dents.

Le pavage en blocages s'exécute avec les mêmes soins que le précédent, mais il est moins régulier et donne des chemins moins bons.

L'entretien des routes pavées se fait par *relevés à bout ou par entretien simple.* Un relevé à bout consiste à refaire la chaussée sur une partie de son étendue, comme si elle était neuve, en rejetant les pavés cassés, de mauvaise qualité et auxquels l'usure a donné des dimensions trop faibles. On marque ordinairement les limites du relevé à bout par deux rangs de pavés neufs.

L'entretien simple consiste à remplacer seulement ça et là quelques pavés cassés, ou à relever les parties de pavage enfoncées ou cassées.

45. — Chaussées en asphalte. — L'asphalte de Seyssel est un carbonate de chaux imprégné naturellement d'une manière très intime de 6 à 10 % de bitume. Cette roche se rencontre encore au Val de Travers, canton de Neufchâtel (Suisse), et sur plusieurs autres points de la même région jurassique. On en fait à Paris des chaussées très résistantes par un procédé qui s'applique dans certains cas avec avantage aux cours de stations, quais découverts, passages à niveau, etc.

La forme de la chaussée, fortement pilonnée, est recouverte d'une couche de béton hydraulique d'environ 10 centimètres ; puis on étend sur ce béton bien sec l'asphalte chauffé au-dessus de 100 degrés, et qui, à cette température, se réduit en poussière par l'effet du ramolissement du bitume ; on pilonne la poudre d'asphalte chaude avec des dames en fonte (fig. 69) chauffées ; puis vient la compression à l'aide de rouleaux de 200, 800 et 1.500 kilogrammes, jusqu'à ce que la couche soit réduite à une épaisseur uniforme de 4 centimètres au plus ; deux ou trois heures après l'achèvement de l'opération, la chaussée refroidie et durcie peut être livrée à la circulation.

Le tableau suivant indique les prix comparatifs des différentes chaussées employées à Paris.

CHAUSSÉES	PRIX d'établissement par mètre carré	ENTRETIEN par mètre carré	OBSERVATIONS
Asphalte comprimé béton compris. .	15 francs	1 fr. 25	Le montant de la dépense est fonction du plus ou moins grand écartement des joints.
Pavé en porphyre belge.	18 à 22 fr.	0fr.50 à 1fr.50	
Macadam en porphyre dans les voies fréquentées.	7 francs	2fr.40 à 3fr.00	Il faudrait ajouter aux frais d'entretien les frais de nettoyage des égouts.

L'entretien courant des chaussées en asphalte est très simple, surtout quand l'encaissement est bien préparé et que la chaussée ne se défonce pas ; il suffit de les balayer en temps sec, et de les laver toutes les vingt-quatre heures quand le temps est humide et qu'elles deviennent glissantes. On peut aussi jeter du sable à la surface. Quand elles sont défoncées, il faut les rétablir avec plus de soin.

46. — Chaussées pavées en bois. — Depuis une vingtaine d'années on a essayé différents systèmes de pavage en bois qui, à l'origine, laissaient beaucoup à désirer. Dans ces dernières années on est arrivé à réaliser un pavage solidement établi sur une couche de béton, qui présente les avantages de la chaussée en asphalte sans en avoir tous les inconvénients.

Le prix d'établissement de ce pavage sur une couche de béton de 10 à 15 centimètres d'épaisseur peut varier de 11 à 18 francs le mètre carré.

L'expérience n'est pas encore d'une durée assez longue pour pouvoir présenter des chiffres indiscutables quant aux frais d'entretien.

Ce mode de pavage très employé par les villes importantes pour leurs voies les plus fréquentées et les plus belles, peut être également recommandé pour les cours d'arrivée ou de départ des stations, des halles à marchandises, etc.

CHAPITRE III

OUVRAGES D'ART

§ I.

Travaux préliminaires.

47. — Projet. — Lorsqu'un chemin de fer rencontre des routes, des cours d'eau plus ou moins importants, des vallées trop profondes pour être économiquement franchies par remblai, ou des montagnes trop élevées pour admettre l'ouverture de tranchées, on est conduit, soit par nécessité, soit par économie, soit en vue d'assurer la sécurité de l'exploitation, à construire des ouvrages d'art en bois, en maçonnerie ou en métal.

L'établissement de ces ouvrages réclame une étude approfondie de questions nombreuses et très importantes : sécurité absolue, durée, économie règles de l'art, nature des matériaux à employer suivant les circonstances et la localité ; mode de fondation eu égard à la nature des terrains ; dimensions nécessaires et suffisantes de l'ensemble et des différentes parties qui le composent. L'ingénieur ne résoudra ces différentes questions qu'après avoir recueilli tous les renseignements indispensables, comparé des ouvrages du même genre déjà construits, examiné les conditions de débouché pour les eaux, etc. A ce sujet nous ne pouvons que renvoyer le lecteur aux ouvrages spéciaux de construction.

Cependant nous rappellerons ici quelques règles générales.

Il faut éviter les ouvrages en bois sur les grandes lignes et ne les employer que provisoirement sur les chemins de faible trafic.

En effet, ils présentent moins de stabilité que la maçonnerie où les métaux, s'altèrent bien plus rapidement sous les influences atmosphériques, et exigent plus d'entretien ; enfin, sur les chemins de fer, ils sont constamment exposés à être détruits par l'incendie, témoins les grands ponts des chemins russes, de Dunabourg, en 1868, de l'Amsta, en octobre 1869, etc...

Pour les ouvrages en maçonnerie, on évitera surtout d'augmenter les sur-

faces extérieures ou parements vus, par des voûtes de décharge ou d'allègement, des refoulements, bossages, niches ou autres moyens d'ornementation. Ces surfaces sont exposées aux influences atmosphériques, dont les effets après quelques années, deviennent désastreux sur la maçonnerie ; plus elles sont multipliées, plus les frais d'entretien augmentent.

Simplicité, légèreté et stabilité absolues, telles sont les premières conditions qu'il faut rechercher dans les ouvrages d'art des chemins de fer.

Pour les ponts métalliques, l'expérience semble prouver que l'on doit préférer généralement le fer à la fonte, cette dernière matière présentant une trop grande incertitude de résistance normale, et l'acier paraît appelé à se substituer au fer d'une manière à peu près générale. Les ponts métalliques admettent un débouché plus large et de plus grandes portées que les ponts en maçonnerie ; ils seront donc préférés lorsqu'il faudra traverser un cours d'eau rapide sujet à des crues considérables (1) ou dont la navigation est très importante, et dans le cas où les fondations dans un terrain non résistant présenteraient de grandes difficultés. On emploie fréquemment la fonte en poutres droites pour les petits viaducs de 2 à 5 mètres d'ouverture, lorsque le fer est plus coûteux.

Prescriptions de l'Administration en France. — A moins d'obstacles locaux, le chemin de fer, à la rencontre des routes nationales ou départementales, doit passer au-dessus ou au-dessous de ces routes.

Cette recommandation est principalement applicable sur une grande ligne où le trafic est considérable et aux abords des villes ; pour les embranchements nouveaux, il sera convenable, au contraire, par raison d'économie, d'établir seulement des passages à niveau.

Les ponts, aqueducs, viaducs, etc., à construire à la rencontre des routes, chemins publics, cours d'eau, seront en maçonnerie ou en fer ; dans certains cas, ils peuvent être construits provisoirement avec travées, piles et culées en bois ; mais ces piles et culées auront l'emplacement voulu pour permettre ultérieurement la construction des piles et culées définitives et celles des travées en fer, ou des arches en maçonnerie (72).

L'Administration des chemins de fer doit faire à ses frais tous les travaux provisoires nécessaires au maintien de la navigation sur les cours d'eau ou

(1) Cette question du débouché à livrer aux cours d'eau, principalement aux torrents ne saurait être étudiée avec trop de soin. Nous indiquons au n° 61 les mesures que l'on a dû prendre, en certains cas, pour subvenir au défaut de largeur des ouvrages d'art exposés aux crues subites. Il est indispensable de s'entourer des renseignements statistiques les plus précis à cet égard.

de la circulation sur les routes nationales et départementales, pendant la construction des ouvrages d'art. Si les terrains dans lesquels les souterrains sont ouverts présentent des chances d'éboulement ou de filtration, la Compagnie doit prévenir et arrêter ce danger par des ouvrages solides et imperméables.

Les puits d'aérage et de construction des souterrains ne peuvent avoir leur ouverture sur aucune voie publique, et doivent être entourés d'une margelle en maçonnerie de 2 mètres de hauteur.

Toutes les parties d'un pont en dessus ou en dessous faisant corps avec le chemin de fer sont des dépendances de la voie et doivent être entretenues par la Compagnie, mais l'entretien de la chaussée proprement dite incombe au service chargé de l'entretien des routes et chemins.

Conditions de résistance et d'épreuves exigées par l'Administration. A la date du 29 Août 1891 le Ministère des Travaux Publics de France a déterminé les limites de résistance des métaux entrant dans la composition des ponts métalliques à admettre dans les calculs.

L'article 2 spécifie que les dimensions des différentes pièces des ponts supportant une voie ferrée seront calculées de telle sorte que dans la position la plus défavorable des trains normaux ou du train-type d'essai et en tenant compte de la charge permanente ainsi que des efforts accessoires, tels que ceux qui peuvent être produits par les variations de température, le travail du métal par millimètre carré de section nette, c'est-à-dire déduction faite des trous de rivets ou de boulons, ne dépasse pas les limites suivantes :

1° Pour la fonte supportant un effort d'extension directe,

$1^k,50$

Pour la fonte travaillant à l'extension dans les pièces soumises à des efforts tendant à les faire fléchir, $2^k,50$

Pour la fonte supportant un effort de compression, 6 kilogrammes.

2° Pour le fer et l'acier travaillant à la compression et à la flexion :

Le fer, $6^k,50$

L'acier, $8^k,50$

Toutefois ces limites seront abaissées à $5^k,50$ pour le fer et 7^k50 pour l'acier, dans les pièces de pont, longerons et entretoises sous rails ;

A 4 kilogrammes pour le fer et à 6 kilogrammes pour l'acier, pour les barres de treillis et autres pièces exposées à des efforts alternatifs d'extension et de compression, ces dernières limites pourront être néanmoins rapprochées des précédentes pour les pièces qui seront soumises à de faibles variations de ces efforts.

Dans l'établissement du projet des ouvrages métalliques d'une ouverture supérieure à 30 mètres, les ingénieurs pourront appliquer au calcul des fermes principales des limites supérieures à celles qui ont été fixées plus haut, sans jamais dépasser :

Pour le fer,	$8^k,50$
Pour l'acier,	$11^k,50$

Ils devront justifier dans chaque cas particulier les diverses limites dont ils auront cru devoir faire usage.

Lorsque les fers laminés dans un seul sens seront soumis à des efforts de traction perpendiculaire au sens du laminage, les coefficients seront réduits d'un tiers dans les calculs relatifs à ces efforts.

Les coefficients concernant l'acier ne subiront pas cette réduction.

On appliquera aux efforts de cisaillement et de glissement longitudinal les mêmes limites qu'aux efforts d'extension et de compression, mais en leur faisant subir une réduction d'un cinquième étant entendu que les pièces auront les dimensions nécessaires pour résister au voilement ; pour le fer laminé dans un seul sens, on fera subir à ces coefficients une réduction d'un tiers, lorsque l'effort tendra à séparer les fibres métalliques.

Le nombre et les dimensions des rivets seront calculés de telle sorte que le travail de cisaillement du métal ne dépasse pas les quatre cinquièmes de la limite qui aura été admise pour la plus faible des pièces à assembler et que le travail d'arrachement des têtes, s'il s'en produit, ne dépasse pas 3 kilogrammes par millimètre carré, en sus de l'effort résultant du serrage.

3° Les calculs justificatifs de la rivure seront toujours fournis à l'appui des projets en même temps que les calculs des dimensions des diverses pièces.

Il en sera de même des calculs des assemblages par boulons dans les ponts en fonte.

Qualité des matières. — L'article 3 indique les qualités du fer et de l'acier qui correspondent aux coefficients de travail fixés à l'article 2.

Elles ressortent du tableau ci-dessous :

DÉSIGNATION	RÉSISTANCE minimum à la traction par m/m carré mesurée sur des éprouvettes de 200 m/m de longueur	ALLONGEMENT minimum de rupture par m/m carré mesuré sur des éprouvettes de 200 m/m de longueur
Fer laminé — Fer profilé et plat (dans le sens du laminage)	32 kgr.	8 pour cent
Fer laminé — Tôle — dans le sens du laminage .	32 »	8 »
Fer laminé — Tôle — dans le sens perpendiculaire au laminage . . .	28 »	3,5 »
Acier laminé	42 »	22 »
Rivets en fer.	36 »	16 »
Rivets en acier.	38 »	28 »

Les cahiers des charges fixeront pour l'acier le minimum et le maximum entre lesquels devra être compris le rapport de la limite pratique d'élasticité à la résistance à la rupture. Le minimum ne devra pas être inférieur à un demi, et le maximum ne devra pas dépasser deux tiers.

Des coefficients de travail plus élevés pourront être autorisés par l'administration pour des métaux de qualités différentes, si des justifications suffisantes sont produites.

On ne tolérera dans aucun cas l'emploi d'aciers fragiles, et on s'assurera fréquemment, pendant la construction, de la qualité de métal à ce point de vue, au moyen d'essais de trempe et d'expériences faites en pliant des barres percées de trous au poinçon. Les cahiers des charges devront renfermer des prescriptions détaillées à cet égard, sans préjudice des autres conditions relatives aux qualités du métal.

Dans tous les cas, lorsque l'on emploiera l'acier, les trous des rivets seront forés ou alésés, après le perçage, sur une épaisseur d'au moins 1 millimètre et les bords des pièces coupées à la cisaille seront affranchis sur la même épaisseur.

Dans l'article 4, on détermine les conditions que le train d'essai doit remplir.

Ce train type se composera de deux machines à quatre essieux, de leurs tenders et de vagons chargés. Les poids et dimensions des machines, tenders et vagons chargés sont donnés par le tableau ci-dessous.

Les machines avec leurs tenders seront placées toutes deux en tête du train.

DÉSIGNATION	Machine	Tender	Vagon chargé
Nombre de véhicules	2	2	2
Nombre d'essieux de chaque véhicule	4	2	2
Charge par essieu	14^t	12^t	8^t
Distance du tampon d'avant au 1er essieu . .	$2^m,60$	2^m	$1^m,50$
Ecartement des essieux entre eux	$1^m,20$	$2^m,50$	$3^m,00$
Distance du dernier essieu au tampon d'arrière	$2^m,60$	$2^m,00$	$1^m,50$
Poids total par véhicule	56^t	24^t	16^t
Longueur totale de chaque véhicule	$8^m,80$	$6^m,50$	6^m

L'ensemble du train sera supposé occuper successivement différentes positions le long de la portée, et ces positions seront choisies de manière à réaliser en chaque point les plus grands efforts tranchants et fléchissants que le passage du train type puisse déterminer.

Les dimensions des pièces qui ne font pas partie des fermes longitudinales, et notamment celles des pièces de pont, seront calculées d'après les plus grands efforts qu'elles pourront avoir à supporter, soit dans l'hypothèse du passage du train type, soit dans l'hypothèse du passage d'un essieu isolé pesant 20 tonnes, si cette dernière réalise les plus grands efforts.

Ponts des chemins de fer à voie étroite. — Les prescriptions relatives aux ponts pour chemins de fer à voie normale sont applicables aux chemins de fer dont la largeur de voie ne sera pas inférieure à 1 mètre, sauf les modifications suivantes :

Le train type se composera de deux machines à quatre essieux, dont les poids et dimensions sont donnés par le tableau ci-dessous.

DÉSIGNATION	Machine	Tender	Vagon chargé
Nombre d'essieux	4	2	2
Charge par essieu	10^t	8^t	8^t
Distance du tampon d'avant au premier essieu	2^m60	1^m50	1^m50
Ecartement des essieux entre eux.	1^m20	3^m	3^m
Distance du dernier essieu au tampon d'arrière	2^m60	1^m50	1^m50
Poids total	40^t	16^t	16^t
Longueur totale	8^m80	6^m	6^m

Pour le calcul du travail du métal sous l'action d'un essieu isolé, on admettra une charge de $14^t \times l$. Mais la charge d'essieux maximum, dont le passage ne pourra avoir lieu sur les ponts sans autorisation spéciale, sera fixée à $12^t \times l$ (l largeur de la voie entre boudins de rails).

Les trains à employer pour les essais seront composés avec le plus lourd matériel propre à la ligne sur laquelle est placé le pont métallique.

Pression du vent. — L'article 5 indique que le travail du métal, sous l'influence des plus grands vents, ne devra pas dépasser de plus de 1 kilogramme les limites fixées à l'article 2.

On admettra que la pression du vent, par mètre carré de surface verticale, peut s'élever à 270 kilogrammes, mais que le passage des trains est interrompu lorsqu'elle atteint 170 kilogrammes. On supposera, en outre, que cette pression s'exerce sur la surface nette, déduction faite des vides, de chacune des maîtresses poutres, qu'elle agit intégralement sur l'une d'elles, et que, sur la suivante, elle est diminuée d'une fraction de sa valeur égale au rapport de la surface nette de la première à la surface totale limitée par son contour; enfin que l'effet du vent, en arrière de certaines poutres, est négligeable. Pour les piles métalliques, on supposera que la pression s'exerce intégralement sur la surface nette de toutes les pièces.

Dans l'hypothèse d'un train placé sur le pont, on comptera, pour sa surface verticale nette, un rectangle de 3 mètres de hauteur ayant la même longueur que le pont, et dont le côté inférieur sera placé à 50 centimètres au-dessus du rail; on déduira de ce rectangle la surface nette de la partie de la première poutre placée en avant, et on supposera que la pression du vent est nulle sur la partie de la seconde poutre masquée par le train.

Enfin, on s'assurera que les efforts de glissement transversal, et de renversement des tabliers et des piles métalliques sous l'action du vent, n'atteignent pas des limites dangereuses, en tenant compte des conditions spéciales dans lesquelles pourront être placés les ouvrages, et en supposant que le train défini ci-dessus est composé de vagons vides.

49. — Dimensions des ouvrages d'art. — L'administration tout en se réservant le droit d'imposer ou d'approuver les dimensions des ouvrages dans chaque cas particulier, a fixé ainsi leurs dimensions minima.

L'ouverture des *viaducs en dessous des rails* ne peut pas être moindre de 8 mètres pour une route nationale, 7 mètres pour une route départemen-

tale. 5 mètres pour un chemin vicinal de grande communication, 4 mètres pour un simple chemin communal. La largeur entre les parapets doit être, pour la grande voie, d'au moins 8 mètres pour deux voies et 4m,50 pour une voie (1) et leur hauteur d'au moins 1 mètre. Les parapets des viaducs situés à moins de 200 mètres en avant du lieu de stationnement des trains de voyageurs et à moins de 150 mètres en arrière, doivent avoir 1m,50 de hauteur pour les viaducs de formes cintrées, la hauteur sous clé, à partir du sol de la chaussée sera de 5 mètres au moins. Pour les ouvrages formés de poutres horizontales, la hauteur sous poutre ne sera pas inférieure à 4m,30.

Tous les ouvrages d'art construits dans les rues des villes se trouvent, en quelque sorte, en dehors des prévisions des règlements, et les Compagnies doivent s'entendre avec l'administration dans chaque cas particulier.

En ce qui concerne les *viaducs en dessus des rails*, les distances minima entre les parapets pour chaque espèce de route, seront les mêmes que pour les ouvertures des viaducs en dessous. L'ouverture entre les culées sera telle qu'il y ait un intervalle de 0m,70 au moins entre les culées et les parties les plus saillantes du matériel roulant, cette largeur devant régner sur deux mètres au moins au-dessus du niveau des rails.

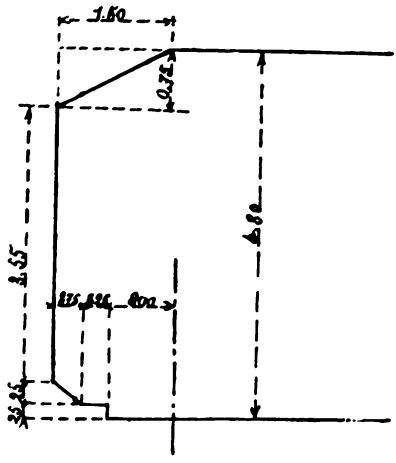


Fig. 70.
Gabarit des ouvrages métalliques 1/100.

La distance verticale entre l'intrados et le dessus des rails ne sera pas inférieure à 4m,80 pour la voie de 1m,44 ; pour les autres voies, elle devra laisser un intervalle libre de 0m,60 entre la clé et la partie la plus haute du matériel roulant.

L'art. 11 du Règlement du Ministère des Travaux Publics de France, en date du 29 août 1891 fixe ainsi qu'il suit la distance du rail aux pièces les plus rapprochées de la voie (fig. 70).

Les pièces les plus rapprochées de la voie ne pourront, à partir de cinquante

(1) Cette largeur sera telle qu'il y ait un intervalle de 0m,70 au moins entre les parapets et les parties les plus saillantes du matériel roulant (Cahier des charges type dressé en exécution de l'art 2 de la loi du 11 juin 1880).

centimètres jusqu'à quatre mètres cinq centimètres de hauteur au-dessus du rail le plus voisin, être placées à moins de un mètre cinquante centimètres de l'axe de ce rail. Les pièces placées à une distance moindre ne pourront à la partie inférieure, jusqu'à quatrevingts centimètres de l'axe du rail le plus voisin, faire saillie sur le niveau de ce rail, et à partir de quatrevingts centimètres du même axe, dépasser une ligne brisée composée :

1° D'une verticale de vingt-cinq centimètres de hauteur ;

2° D'une horizontale de trois cent vingt cinq millimètres de longueur ;

3° D'une ligne inclinée à trois de base pour deux de hauteur ; à la partie supérieure les mêmes pièces devront rester au-dessus d'une ligne s'abaissant avec une inclinaison de deux de base pour un de hauteur à partir d'un point pris à l'aplomb de l'axe du rail le plus voisin et à quatre mètres quatre-vingts centimètres au-dessus de ce rail. Aucune pièce placée au-dessus des voies ou entre-voies ne pourra être à moins de quatre mètres quatre-vingts centimètres de hauteur au-dessus du niveau des rails.

La largeur des *ponts en rivières* entre les parapets doit être d'au moins 8 mètres sur les chemins à deux voies et de $4^m,50$ sur les chemins à une voie. La hauteur et le débouché sont déterminés dans chaque cas particulier par l'administration.

La hauteur des parapets ne doit pas être moindre de 1 mètre.

Les *tunnels et souterrains* doivent avoir au moins 8 mètres d'ouverture au niveau des rails pour deux voies, et $4^m,50$ à 5 mètres pour une voie. Sur plusieurs chemins cette ouverture n'a été fixée qu'à $7^m,40$ (fig. 71) ; on a reconnu depuis que le contrôle de route est très difficile et que cette ouverture doit être portée à 8 mètres.

La hauteur sous clé était fixée primitivement à $5^m,50$ au-dessus de la surface des rails pour les tunnels à une et à deux voies, maintenant elle doit être égale en France à la hauteur maximum du gabarit du matériel roulant, augmentée d'un intervalle libre d'au moins $1^m,20$. Si on admet le maximum fixé par le cahier des charges type, soit $4^m,20$ pour hauteur du matériel roulant, on voit que la hauteur sous clé serait de $5^m,40$ et cependant l'enquête de 1862 a indiqué que cette hauteur pourrait être abaissée à $5^m,20$ et même à 5 mètres pour les souterrains à une voie.

Ces indications sont applicables à la construction de tunnels en ligne droite et en supposant que le matériel des chemins étrangers passe dans le gabarit ordinaire des lignes françaises ; mais si le souterrain était construit en courbe,

le surelèvement du rail extérieur et la disposition des pavillons et des lanternes des voitures devraient être pris en considération dans le projet d'établissement de cet ouvrage.

Nous rencontrerons de nouveau cette question en traitant de la pose de la voie dans les courbes ; néanmoins, nous pouvons indiquer ici que, pour des courbes d'un rayon de 200 mètres, le surhaussement du rail extérieur est souvent fixé à $0^m,13$. En supposant qu'un tunnel ou un ouvrage d'art courant se trouve dans une courbe décrite avec un rayon de 200 mètres (fig. 71), les pavillons des véhicules peuvent facilement être rejetés de $0^m,40$ en dehors de leur position normale en voie droite, déplacement considérable et qui peut encore augmenter par suite de la flexion des ressorts et des secousses dues aux imperfections de la voie.

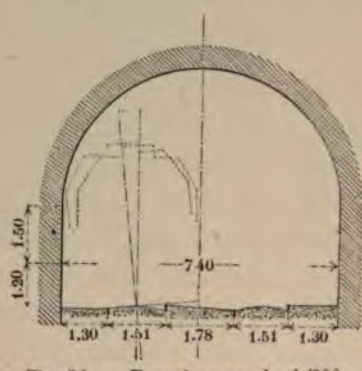


Fig. 71. — Tunnel en courbe 1/200.

Dans les souterrains d'une certaine longueur, on ménage des niches de refuge, espacées de 30 à 40 mètres, pour le personnel de la surveillance et de l'entretien. On leur donne 2 mètres de largeur, $1^m,50$ de profondeur et $2^m,50$ de hauteur. L'ouverture des puits d'aérage et de construction des souterrains doit être entourée d'une margelle en maçonnerie de 2 mètres de hauteur.

49. — Piquetage et tracé. — La construction d'un ouvrage d'art étant arrêtée, et les projets définitifs approuvés, l'administration remet à l'agent chargé d'en diriger l'exécution, les dessins et spécifications qui s'y rapportent. Comme garantie de bonne exécution, il est convenable de faire dessiner par cet agent les plans et profils à grande échelle, cotés dans toutes leurs dimensions, avec tous les détails de construction ; de lui faire copier le cahier des charges, auquel il doit se conformer et les spécifications indiquant pour chaque ouvrage, la nature, la provenance des matériaux et le mode d'exécution (*Annexes E F G.*).

Le piquetage ou tracé est généralement fait par l'ingénieur en présence de l'agent chargé de la surveillance. Cette opération très importante consiste à déterminer géométriquement sur le terrain, d'après les cotes des dessins, et à marquer par des piquets tous les points de repère en plan vertical et en plan

horizontal, tous les alignements nécessaires pour planter l'ouvrage dans la position exacte qu'il doit occuper, et pour permettre de tracer le plan des fondations. La question essentielle est de fixer d'une manière absolue l'étendue du terrain à fouiller, eu égard au système adopté, aux talus à ménager, etc. Quand les fondations sont achevées, on doit recommencer l'opération du tracé pour déterminer définitivement la position du socle de l'ouvrage avec toute la perfection possible. Des erreurs considérables ont été commises dans plusieurs cas, faute d'avoir pris tout d'abord ces précautions indispensables. Il est donc important que l'exactitude du tracé soit parfaitement contrôlée et vérifiée par l'ingénieur et l'agent chargé de suivre le travail, et, de plus, par l'entrepreneur, si l'ouvrage n'est pas fait en régie. Dans ce dernier cas l'entrepreneur doit supporter tous les frais et prendre la responsabilité de toutes les opérations nécessaires pour tracer et emplanter l'ouvrage.

Toutes ces mesures arrêtées, l'ingénieur peut donner l'ordre de commencer les fouilles de fondations, suivant les prescriptions de la spécification.

En construisant un ouvrage d'art, il faut éviter, autant que possible, de s'écarter des indications portées aux plans et devis approuvés par l'administration. Les modifications ne peuvent y être introduites qu'avec l'autorisation et sur des ordres écrits de l'ingénieur. Dans le cas où des modifications seraient apportées sans autorisation, soit dans le mode de construction, soit dans l'emploi des matériaux, le devoir de l'ingénieur est de faire enlever tout ce qui n'est pas conforme aux conventions ou clauses du cahier des charges et de rétablir l'ensemble selon le mode prescrit. Les frais résultant de ce redressement incombent naturellement à la charge de la partie qui y donne lieu.

Les travaux doivent toujours être poursuivis avec activité, surtout s'il s'agit de constructions dont dépend l'exploitation de la ligne. Tout en accélérant la construction, l'ingénieur doit en même temps veiller à ce que la sécurité des ouvriers et du public ne soit pas compromise ; les échafaudages seront donc soigneusement et solidement établis, les travaux et chantiers disposés de façon à ne point entraver la circulation sur la ligne et sur les voies publiques.

Nous indiquerons plus loin les mesures à prendre lors de l'approche des trains et pendant les travaux de nuit (Chapitre XII).

50. — Journal et carnet d'attachements. — En cours de construction, l'agent de la Direction surveillant les travaux, tient un journal spécial, dans lequel sont indiquées toutes les dispositions qui ne sont pas

portées sur les plans et toutes les dimensions ou quantités qui ne pourraient pas être vérifiées après l'achèvement de l'ouvrage. Ce journal est très important à consulter lorsque l'administration doit payer à l'entrepreneur des indemnités pour travaux imprévus, modifications aux devis, etc., ou lorsque l'on doit exécuter plus tard de grandes réparations à l'ouvrage. A cet effet l'agent de l'administration inscrit dans son journal : la profondeur des fouilles, la nature du sol traversé, le mode de fondation, la nature des maçonneries, les mesures prises pour l'épuisement, les dimensions des pierres de taille et libages, le poids des parties métalliques, etc.

Il y porte également tous les travaux faits en régie pour le compte de l'entrepreneur, soit sur sa demande, soit par suite de sa négligence ; les modifications aux séries de prix et aux plans résultant de cas de force majeure, enfin tout ce qu'il est utile de connaître pour établir le coût de la construction.

Dans les travaux réglés au poids, il y a lieu de s'en tenir aux prescriptions des devis descriptifs et des détails estimatifs.

Les pièces au poids arrivées sur le chantier sont pesées en présence du conducteur des travaux, qui dresse un bulletin de pesage, le certifie et en inscrit le libellé dans le journal, en accompagnant sa note d'un croquis coté de la pièce. Ceci ne s'applique évidemment qu'aux petits ouvrages.

Les époques fixées par la direction, pour l'achèvement de la construction, doivent toujours être observées scrupuleusement. Aussi l'agent chargé de diriger des travaux neufs ou de grandes réparations, en régie où à l'entreprise, porte dans le carnet d'attachements spécial à chaque ouvrage, la date du commencement des travaux, le jour de la mise à exécution de chaque travail séparé, comme fouilles, fondations, maçonneries, etc., enfin le nombre d'ouvriers employés par semaine, etc.

Ce registre indique également : les circonstances atmosphériques pour chaque jour de travail, les évènements imprévus qui peuvent s'opposer à l'achèvement d'un travail dans le délai fixé ; les ordres donnés à l'entrepreneur, les observations concernant l'activité et l'exécution des travaux, enfin tout ce qui pourrait être utile à l'administration pour régler le compte de l'entrepreneur, ou statuer au sujet des réclamations éventuelles faites par lui en dehors de son contrat. Le registre doit être vérifié par l'ingénieur de section, chaque semaine, et, quand cela est nécessaire, annoté et parafé par lui.

On trouvera à l'annexe B des considérations sur la nature des conventions que l'on établit lorsque les travaux sont exécutés par un entrepreneur.

51. — Fouilles et fondations. — Tous les travaux de fondations doivent être poussés avec la plus grande activité. L'ingénieur fixe la profondeur des fouilles pour chaque ouvrage en particulier, en se basant sur des sondages.

L'étrésillement de la fouille doit être fait avec soin.

Les fondations s'établissent soit directement sur le sol naturel, s'il est suffisamment résistant, soit sur grillage ou sur pilotage, et dans ce cas la longueur des pieux est fixée d'après la nature du terrain. Dans tous les cas, le fond de la fouille doit être d'abord dressé suivant un plan parfaitement horizontal et les vides bien remblayés jusqu'à la hauteur des têtes des pilots, ou la surface supérieure des pièces du grillage.

Quand on ne peut pas se fier à la résistance d'un pilotage, il vaut mieux fonder sur un lit épais et suffisamment étendu de bon béton qui répartit la pression de l'ouvrage et des surcharges accidentelles sur une surface en rapport avec la résistance propre du sol. Pour augmenter cette résistance, on peut entourer la fondation d'une paroi de palplanches qui empêche le sous-sol de s'échapper par la compression.

Lorsque l'eau vient à se manifester au fond des fouilles, l'épuisement est généralement fait en régie, par l'administration du chemin de fer.

Les libages destinés à la maçonnerie de fondations, sont durs, plats, sans bousin ni crasse de carrière, et ébauchés suivant les dimensions et formes prescrites. Ils sont équarris de manière à pouvoir se poser jointifs ; ceux destinés aux parements sont dressés exactement. Les moellons et libages de fondation doivent toujours être posés et assis à coup de masse, sur un bain de mortier assez épais pour que la pierre ne touche que le mortier : la dernière assise sera suffisamment réglée pour qu'on puisse y tracer la base du mur en élévation.

Pour les fondations de ponts en rivières, nous renvoyons aux ouvrages spéciaux qui traitent de ce genre de constructions.

§ II.

Nature et emploi des matériaux

Matériaux. — Les principaux matériaux, employés à la construction des ouvrages d'art, sont :

Les pierres cassées, cailloux siliceux, gros graviers, le sable ;
La chaux, le ciment, la pouzzolane, le plâtre ;
La pierre de taille, la brique, le moellon de diverses espèces ;
Le bois de charpente ;
Les métaux ;
Les peintures, le coaltar et l'asphalte.

52. — Pierres cassées, cailloux, sable. — Les pierres cassées, graviers, cailloux, destinés à la confection des bétons, doivent toujours être purgés de terre et autres matières nuisibles, soit au moyen du râteau après le cassage, soit au moyen du passage à la claie. Pour les bétons ordinaires, ces matériaux sont cassés de manière à passer en tous sens dans un anneau de $0^m,06$ de diamètre. Pour les chapes en béton, les pierres cassées doivent passer dans un anneau de $0^m,04$ de diamètre. Il est plus important encore, pour la fabrication du béton, que pour la confection des chaussées de faire le cassage hors des lieux d'emploi, et de rejeter les pierres empaquetées de gangue.

Le sable, pour la fabrication des mortiers, sera pur et passé à la grosse claie, à la fine claie et au tamis, suivant sa destination. Ainsi, pour les mortiers et bétons de fondation, maçonnerie de remplissage, on le passe à la grosse claie espacée de $0^m,008$ au plus ; pour la maçonnerie de parements, à la claie fine ; pour la maçonnerie de pierre de taille, de brique, de moellon smillé ou piqué, au tamis ou crible fin de 81 trous par centimètre carré.

On lavera les sables et cailloux toutes les fois qu'ils seront terreux ; pour la fabrication des mortiers, on emploiera de préférence le sable de rivière ou le sable de plaine, sans repousser d'une manière absolue celui provenant des déblais.

53. — Chaux. — Les calcaires, suivant leur composition, fournissent des chaux très diverses, dont les trois types sont : la chaux *grasse*, la chaux *maigre*, et la chaux *hydraulique*.

Tous les calcaires purs, c'est-à-dire qui ne contiennent que quelques centièmes d'argile, de magnésie ou de sable mélangé, donneront de la chaux grasse, c'est-à-dire une chaux qui foisonne lorsqu'on l'éteint avec de l'eau, et forme avec le sable siliceux un mortier qui durcit lentement à l'air, et acquiert une dureté moyenne ; ces mortiers ne peuvent d'ailleurs durcir dans l'eau, où ils se dissoudraient et se délayeraient. Le marbre blanc, la craie blanche, le calcaire compacte lithographique, les calcaires terreux ou moellons, tous donnent des chaux grasses, tant qu'ils restent suffisamment purs.

Certaines chaux contiennent 20 à 25 % de magnésie, 15 à 25 % de sable disséminé, et ces chaux sont alors *maigres non hydrauliques*. Les chaux maigres non hydrauliques foisonnent très peu, et ne durcissent ni à l'air, ni dans l'eau.

Ce qu'on doit craindre dans les calcaires employés pour la fabrication des chaux grasses, c'est surtout la magnésie et le sable, dont la proportion ne doit pas dépasser 4 à 5 %; c'est pour cela qu'on doit toujours préférer les qualités les plus pures.

Les chaux ne deviennent tout à fait *maigres non hydrauliques* que par des proportions considérables de sable ou de magnésie; la nature sableuse du calcaire se reconnaît assez facilement, mais l'analyse seule peut signaler la magnésie. En examinant les analyses de chaux maigres non hydrauliques, on voit que les proportions de 15 à 25 de magnésie, de 15 à 25 de sable, neutralisent complètement les propriétés de la chaux.

Les chaux hydrauliques ont été divisées, par M. Vicat, en trois classes :

Les chaux moyennement hydrauliques, faisant prise après quinze ou vingt jours d'immersion, et continuant à durcir, les progrès de leur durcissement, devenant de plus en plus lents, surtout après le sixième ou huitième mois. Après un an, leur dureté est comparable à celle du savon sec; elles se dissolvent encore dans une eau pure, mais avec beaucoup de difficulté. Leur foisonnement est variable : il atteint la limite de celui des chaux grasses.

Les analyses indiquent que ces chaux calcinées contiennent de 11 à 12 % d'argile.

Les chaux hydrauliques, qui font prise après six ou huit jours d'immersion, et continuent à durcir. Les progrès de cette solidification peuvent s'étendre jusqu'au douzième mois, quoique la plus grande partie de la dureté soit acquise au bout de six. A cette époque déjà la dureté de la chaux est comparable à celle de la pierre très tendre, et l'eau ne l'attaque plus. Son foisonnement est constamment faible, comme celui des chaux maigres.

Les analyses indiquent que ces chaux contiennent de 13 à 18 % d'argile.

Les chaux éminemment hydrauliques, qui font prise du deuxième au quatrième jour d'immersion, après un mois sont déjà dures et tout à fait insolubles; au sixième mois, elles se comportent comme les pierres calcaires absorbantes; elles donnent des éclats par le choc, et présentent une cassure écailleuse; leur foisonnement est constamment faible comme celui des chaux maigres.

Les chaux maigres, les chaux grasses et les chaux hydrauliques de tous degrés, peuvent être blanches, grises, fauves, rousses, etc.

On dit que la chaux fait prise lorsqu'elle résiste au doigt poussé avec la force moyenne du bras, et qu'elle ne peut plus changer de forme sans se briser. M. Vicat indique comme ayant fait prise la chaux qui supporte sans dépression une aiguille à tricoter de $0^m,0012$ de diamètre, limée carrément à son extrémité, et chargée d'un poids de 0 kil. 300.

Ces chaux contiennent 20 à 25 % d'argile.

Ayant ainsi la clé de la propriété hydraulique des chaux, on a pu en fabriquer artificiellement avec des mélanges de calcaire et d'argile.

On a même fabriqué ce que l'on appelait autrefois des ciments romains, et que l'on appelle aujourd'hui ciment de Paris, de Boulogne, de Portland, etc. Ces ciments calcinés contiennent de 30 à 35 % d'argile. Gâchés avec l'eau, ils se solidifient presque instantanément, comme le plâtre, et acquièrent une solidité analogue à celle des calcaires.

Les mélanges de calcaire et d'argile, avec lesquels on fabrique les chaux hydrauliques et les ciments, doivent être aussi intimes que possible. Ceux que la nature présente tout faits, sous forme de calcaires argileux ou de marnes, sont en général préférables aux mélanges artificiels parce qu'ils sont plus intimes.

La chaux hydraulique, naturelle ou artificielle, est fournie en pierre ou en poudre, selon le mode de fabrication du pays et les indications des ingénieurs.

Elle doit toujours être de première qualité et bien cuite. On en rejette soigneusement tous les biscuits et incuits, et on les conserve, à l'abri de l'humidité, sur une aire en planches, dans un lieu couvert et fermé, jusqu'au moment de l'emploi.

Il est du devoir des agents de la construction de s'assurer, en tout temps, de la qualité de la chaux. Il suffit, pour constater son hydraulicité, d'en choisir quelques échantillons représentant les caractères physiques moyens, de les réduire en pâte ferme, de les mélanger par portions égales, et de les placer dans des vases pleins d'eau; si, après dix jours d'immersion, le mélange ne résiste pas, sans empreinte, à une aiguille d'acier de $0^m,001$ de diamètre, limée carrément à l'extrémité, et chargée d'un poids courant de 0 kil. 300 à 0 kil. 330, on doit rejeter tout l'approvisionnement.

On emploie, dans certains cas, la chaux grasse, et on fait alors des expériences pour déterminer son foisonnement, et par suite le dosage convenable des mortiers et bétons.

On éteint la chaux dans des bassins imperméables, revêtus en planches et placés sous de[illegible] bien abrités, à la portée des ateliers de fa-

brication des mortiers et bétons. La quantité d'eau employée est celle strictement nécessaire à la réduction de la chaux à l'état de pâte ferme et homogène. On peut éteindre la chaux en la prenant telle qu'elle sort des fours, ou en la réduisant d'abord en poudre : dans tous les cas, la quantité d'eau à employer varie un peu suivant les saisons ; elle est en moyenne de 1 mètre cube d'eau pour 1 mètre cube de chaux en pierre.

Pour éteindre la chaux en pierre, on l'étend sur une épaisseur de 20 à 25 centimètres. On verse l'eau proportionnellement aux besoins, en ayant soin de la diriger particulièrement sur les portions où la chaux fuserait à sec. La matière est brassée pour ramener à la surface les parties effervescentes qu'il faut arroser sans dépasser toutefois la proportion fixée. L'opération est conduite d'une manière continue, avec soin et célérité; on ne la considère comme terminée que lorsque la pâte est bien haute et bien homogène.

L'extinction doit avoir lieu au fur et à mesure des besoins, 12 heures au moins et 48 heures au plus avant la confection des mortiers. Il ne faut éteindre à la fois que la quantité nécessaire pour la consommation de deux ou trois jours au plus.

La chaux en poudre s'éteint sur une épaisseur de $0^{m},10$ à $0^{m},15$, en y versant l'eau au moyen d'arrosoirs qui la répandent partout uniformément. Pour la réduire en pâte, on l'écrase avec des rabots, en ayant soin de mettre toujours à découvert les parties sèches, de les imbiber d'eau et de les incorporer à la pâte, de manière à la rendre ferme, liante et homogène. La chaux doit toujours être purgée de rognons. La chaux en poudre doit toujours être employée le jour même de son extinction.

Elle s'emploie aussi en mélangeant le sable avec la poudre, et en arrosant le tout de la quantité d'eau nécessaire pour faire le mortier.

54. — Pouzzolanes et ciments. — La *pouzzolane* naturelle ou artificielle est une matière propre à donner à certaines chaux les qualités d'hydraulicité qui leur manquent. Elle provient de divers bancs argileux renfermant du sable, ou d'un mélange de terre argileuse et de chaux grasse, formé en pains soumis à la cuisson, puis au broyage. On doit toujours la passer au tamis très fin avant son emploi. On l'emmagasine dans des hangars bien clos.

Un mélange de deux parties de pouzzolane de très bonne qualité, et d'une partie de chaux grasse, mesurée en pâte, doit faire prise après deux jours d'immersion au plus.

On l'accepte quand, unie à un égal volume de chaux grasse, et immergée, elle supporte sans empreinte, après cinq jours, une aiguille d'acier de $0^m,001$ de diamètre, limée carrément à son extrémité inférieure, et chargée d'un poids de 300 à 330 grammes.

Tous les matériaux en général, qui, ne satisfaisant pas aux conditions énoncées, ont été rebutés, doivent rester déposés dans un lieu spécial sur le chantier, pour n'être enlevés qu'après l'achèvement des travaux.

On fabrique le *ciment ordinaire* avec des briques légèrement cuites, pulvérisées et passées au tamis, contenant environ vingt-cinq trous ou mailles par centimètre carré.

Il faut rejeter avec soin les briques qui seraient trop ou trop peu cuites, ou qui ne seraient pas faites avec de l'argile convenable.

Pour obtenir le ciment fin, on emploie un second tamis ayant quatre-vingt-une ouvertures par centimètre carré.

Les ciments spéciaux sont fournis directement, et garantis par l'établissement qui en fait la livraison.

On transporte et on conserve les ciments dans des barriques hermétiquement fermées; chaque barrique est soumise à un examen spécial, soit à son arrivée sur les chantiers, soit pendant l'exécution des travaux. Si le ciment qui y est contenu ne remplit pas toutes les conditions voulues pour être de bonne qualité, on doit le rejeter immédiatement.

Les ciments de bonne qualité, gâchés en pâte ferme et immergés, devront faire prise après cinq minutes d'immersion.

Comme nous l'avons vu plus haut (53), on désigne, sous le nom de *ciment romain*, des produits provenant de la cuisson complète de calcaire marneux et argileux renfermant naturellement, et en proportions convenables, tous les principes qui les rendent susceptibles d'un durcissement très rapide dans l'air et sous l'eau, sans addition d'aucun autre corps. Ces calcaires renferment de 0,23 à 0,40 d'argile, mais, quand cette quantité dépasse 0,30, les ciments obtenus sont généralement médiocres.

On est parvenu à fabriquer des ciments artificiels en soumettant, à un degré de cuisson convenable, des mélanges de craie et d'argile ou de marnes plus ou moins chargées d'argile et de carbonate de chaux. Par une cuisson prolongée, on obtient des produits à prise très lente, qui acquièrent une dureté supérieure à celle des ciments correspondants à prise rapide. Le *ciment de Portland anglais* est un ciment à prise lente. Il se fabrique en Angleterre au moyen d'un mélange intime de craie et de vase argileuse qui se trouve sur le bord de la Tamise et du Medway. Le ciment de Portland an-

glais, dont le poids est de 1270 kilogrammes le mètre cube, se contracte de 25 % par le gâchage, et sa prise ne s'opère assez généralement qu'après cinq et même dix heures.

Le *ciment français, dit de Portland* se fabrique à Boulogne-sur-Mer, avec un calcaire homogène appartenant au terrain crétacé inférieur et contenant 19 à 25 % d'argile. Par le gâchage avec 38 % d'eau, sa contraction est de 0,30 environ, et sa prise n'a lieu qu'au bout de dix et même 15 heures, ce qui permet d'en opérer le gâchage au rabot ou au manège, comme pour les mortiers de chaux.

Les ciments du bassin de Paris, fabriqués avec les marnes argileuses de gypse, sont tout à fait analogues au précédent.

M. Le Chatelier, en s'appuyant sur certaines considérations théoriques, a établi que la composition des ciments Portland artificiels peut être renfermée dans les limites suivantes :

$$CaO\ ,\ MgO \leqq 3\ (SiO^2 + Al^2O^3)$$
$$CaO\ ,\ MgO \geqq 3\ [SiO^2 - (Al^2O^3, Fe^2O^3)]$$

Le *ciment de Vassy* provient d'un calcaire argileux et magnésien, que l'on trouve immédiatement au-dessus du lias.

Il faut rejeter rigoureusement toute chaux hydraulique ou pouzzolane, tout ciment naturel ou artificiel qui, essayé, accuserait du sulfate de chaux dans sa composition.

55. — Plâtre. — Le plâtre est généralement fourni en poudre. Il ne doit pas être trop cuit; on reconnaît ordinairement qu'il est parvenu au degré de cuisson convenable lorsqu'il présente au toucher une certaine onctuosité.

Il faut le préserver de l'humidité, car elle lui fait perdre ses qualités; lorsqu'on constate qu'il est éventé, on ne doit pas l'employer. On rejette également le plâtre dans lequel on reconnaît la présence de matières étrangères.

Suivant les diverses applications, on distingue le *plâtre au panier*, état l le fabricant le livre au constructeur, ou tamisé dans un panier à faire les ouvrages grossiers ; le *plâtre au sas*, passé dans un r faire les enduits et les moulures: les résidus ou *mouchettes* re au panier; le *plâtre au tamis de soie*, pour les belles duits devant recevoir des peintures; la *fleur de plâtre*, noulures, c'est-à-dire à boucher les petits trous.

56. — Mortiers. — La composition des mortiers varie avec leurs destinations, mais, dans tous les cas, les matériaux nécessaires à leur fabrication doivent être dosés avec le plus grand soin.

Généralement, pour 1 mètre cube de mortier, il faut :

Sable	$0^{m3},90$
Chaux en pâte.	0 , 45
	1 , 35

ou bien :

Sable	$0^{m3},90$
Chaux en poudre.	0 , 60
	1 , 50

On fabrique le mortier sur des aires en planches, placées sous des hangars couverts et abrités.

La chaux éteinte doit toujours être mesurée en pâte ferme et sans vide. Si elle est dure, on commencera par la battre et la broyer séparément, sans jamais y ajouter d'eau, puis on la mélangera avec le sable ou la pouzzolane, et on corroiera le mélange jusqu'à ce qu'on ne puisse plus distinguer aucune portion de chaux séparée.

Le mortier sera toujours fabriqué sans addition d'eau ; ce ne serait que dans le cas d'un temps très sec, et avec des matières, sable ou pouzzolane, très sèches elles-mêmes, que l'on pourrait tolérer l'addition d'un peu d'eau, mais alors cette addition serait faite graduellement et avec la plus grande réserve.

Le mortier est gâché ferme, bien homogène, et doit se lisser parfaitement à la pelle. Lorsqu'il sera destiné à la maçonnerie de pierre de taille, de moellon smillé et aux rejointoiements, on le fabriquera avec du sable fin tamisé.

On conserve le mortier sur une aire en planches, à l'abri, en ne préparant que la quantité susceptible de pouvoir être employée dans la journée.

Il faut rejeter le mortier qui serait entièrement desséché et ne pourrait revenir par le broyage ou le pilonnage sans addition d'eau. Il en est de même du mortier mal dosé, de celui qui aurait reçu trop d'eau ou ne présenterait pas toutes les conditions de bonne fabrication énoncées dans les règles précédentes.

57. — Bétons. — *Béton de sable.* — Le béton de sable contient environ $0^{m3},20$ de chaux pour 1 mètre cube de sable légèrement humide, on le fabrique avec les mêmes précautions et dans les mêmes conditions que le mortier [illegible] manège pour les ouvrages qui en exigent ch[illegible]

Fabrication du béton. — Le béton se compose de mortier et de cailloux gros graviers ou pierres cassées, mélangés dans les proportions fixées pour chaque ouvrage particulier. On le fabrique et on le conserve sur des aires en planches établies sous des hangars couverts.

Après avoir fabriqué le mortier comme il vient d'être indiqué, on l'ajoute par parties successives aux cailloux ou aux pierres cassées qu'il est bon d'arroser préalablement à grande eau, afin qu'en raison de leur humidité les surfaces adhèrent bien au mortier.

On opère le mélange au moyen de rabots ou de griffes en fer, et par couches successives de cailloux et de mortier. Les pierres ayant été arrosées comme nous venons de le dire, une heure au moins avant l'emploi, la fabrication du béton se fait sans aucune addition d'eau.

Les ateliers doivent présenter une étendue suffisante pour que les ouvriers qui opèrent le mélange de la pierre avec le mortier puissent faire constamment le tour de la masse. On emploie en outre, des machines à coffre ou des bétonnières à couloir pour une production importante de béton.

Le béton doit être employé le plus promptement possible après sa fabrication ; on le remanie au besoin avant l'emploi. Celui qui serait desséché au point de ne pouvoir revenir par la trituration ou le pilonnage, sans addition d'eau, sera rejeté hors du chantier et ne pourra jamais être mélangé avec du béton frais.

Béton posé à sec. — Le béton posé à sec est simplement roulé à la brouette, déchargé et régalé au lieu d'emploi par couches de $0^m,30$ au plus d'épaisseur. On nettoie chaque couche avant la pose de la suivante, et l'on arrose avec du lait de chaux, si elle commence à durcir. Les parties de talus qui seraient desséchées seront soigneusement recoupées et ravinées avant la pose du nouveau béton.

Béton immergé. — Quand le béton est employé sous l'eau, on le coule par couche de $0^m,30$ à $0^m,40$ d'épaisseur avec toutes les précautions nécessaires pour empêcher les matières de se délayer ou de se séparer en arrivant au fond. Dans aucun cas, le béton ne peut être jeté à la pelle ou à la brouette. On emploie généralement des caisses prismatiques ou cylindriqnes à fond mobile, descendues au moyen d'un treuil jusque sur le fond, puis remontées seulement de la quantité nécessaire pour en permettre la vidange.

Quand la hauteur d'eau n'excède pas 1 mètre, l'immersion du béton peut se faire à talus coulants ; on décharge sur le bord de la fouille un massif de béton que l'on presse à la dame plate, de manière à le faire glisser douce-

ment sous l'eau, puis on charge successivement le bord du massif ainsi obtenu; en pressant le bourrelet on fait avancer insensiblement le talus et la masse jusqu'à parfait remplissage de la fouille, et à mesure de l'avancement du travail on tasse fortement le massif à la dame plate.

Avant de commencer le coulage, on nettoie le fond de la fouille avec soin à l'aide de la drague, d'un fagot d'épines ou d'un balai de bouleau. A mesure que chaque couche est posée, on l'étend, en produisant à la surface une légère pression sans choc, à l'aide d'une dame plate, et on enlève avec un balai le dépôt de laitance qui la recouvre avant le coulage de la couche suivante.

On coule ordinairement le béton par tranches perpendiculaires à la longueur des fouilles.

Toutes les fois que le béton doit rester exposé sans revêtement à l'action des eaux, la couche supérieure immergée doit être bien dressée, comprimée et lissée au moyen d'un rouleau en fonte ou en pierre.

Chapes en béton. — Les chapes de $0^m,10$ peuvent s'exécuter en mortier et d'une seule couche, on bien se composer d'une première couche de béton de $0^m,07$ d'épaisseur et d'une seconde en mortier de $0^m,03$ d'épaisseur. Les chapes plus minces sont toujours faites d'une seule couche de mortier.

Les chapes des voûtes ne sont exécutées qu'après le décintrement et, autant que possible lorsque les maçonneries à recouvrir ont fait leur tassement.

Le béton en plan devra être pilonné à l'aide de dames en bois, de 15 à 20 kilogrammes, de manière à forcer les pierres à prendre leur assiette, et les plus petites à entrer dans les vides laissés par les autres. La couche de mortier superposée sera fortement frottée à la truelle, de manière à la lisser et à lui faire perdre son eau. Lorsque le mortier aura été suffisamment ressuyé, il sera battu avec le battoir en bois, de manière à fermer toutes les gerçures qui pourraient se produire. Ces gerçures seront d'ailleurs fermées chaque jour par le frottement à la truelle sans eau, jusqu'à ce que les chapes soient devenues suffisamment dures et résistantes.

Les chapes, quelle qu'en soit la composition, doivent se retourner par congés sur les murs des tympans et présenter, après leur achèvement, une surface parfaitement unie et continue.

58.— Bétons agglomérés. — Les bétons agglomérés sont un simple mélange de sable et de chaux en proportion relativement très faible et, suivant les cas, de quelques centièmes de ciment et de terre cuite pilée, en ajoutant à ce mélange la quantité d'eau strictement nécessaire. Par une tritu-

ration énergique et prolongée, au moyen d'appareils spéciaux, on obtient une pâte qui, d'abord pulvérulente, finit par devenir plastique et très ferme. Cette pâte est versée, par couches successives très minces et soumises à un vigoureux pilonnage, dans un moule dont le vide a la forme de l'ouvrage à construire.

Il ne faut pas négliger de prendre certaines précautions contre le retrait longitudinal des murs d'un certain développement et contre l'infiltration des eaux fouettées par le vent.

L'introduction des ciments de bonne qualité, tels que ceux de Boulogne, de Vassy, de Grenoble en quantité très faible donne de très bons résultats. Si au lieu d'employer un volume de ciment égal à celui du sable ou égal à la moitié de ce volume, comme on le fait ordinairement, on introduit dans le béton $\frac{1}{40^e}$, $\frac{1}{30^e}$, $\frac{1}{20^e}$, de son volume de ciment on obtient des prises rapides et intenses. Quelques jours suffisent pour obtenir la dureté de la pierre.

M. Coignet prétend obtenir le maximum de dureté avec 4 à 5 parties de sable, 1 partie de chaux en poudre et 1/2 partie de ciment.

Dans les travaux de l'aqueduc de la Vanne on a employé 4 parties de sable fin, 1 partie de chaux et 1/3 partie de ciment, c'est aussi la proportion indiquée pour la fabrication des pierres artificielles.

La maçonnerie entière de l'église du Vésinet a été exécutée en béton composé de :

Sable de rivière	3
Sable terreux et ferrugineux du Vésinet. . . .	1
Chaux d'Argenteuil éteinte en poudre.	1
Ciment lourd de Paris	0,25

59. — Moellons. — Le moellon employé à la construction des perrés ou pour la maçonnerie de remplissage doit être dur, anguleux, bien gisant, ébousiné à vif et purgé de toutes matières étrangères.

Le moellon destiné aux parements sera en outre sans fils ni moies, et surtout non gélif. Il doit rendre un son plein sous le marteau. Il faut toujours rejeter le moellon de grès lisse ou silex à cassure vitreuse, tant pour les maçonneries de parement que pour celles de remplissage.

Les moellons doivent avoir au moins $0^m,10$ d'épaisseur sur $0^m,20$ de queue pour les massifs et $0^m,30$ pour les parements. On rejette les moellons ronds, qu'on désigne sous le nom de tête de chat, et ceux qui sont trop tendres.

oellons de meulière sont parfaitement dépouillés de terre, d'un grain coloré, sans cailloux ni rognons.

La craie ou des pierres tendres de nature calcaire s'emploient quelquefois soit pour des enrochements au pied des perrés, soit pour les perrés ou même dans les massifs de maçonnerie. On les extrait des déblais du chemin de fer ou des carrières de la localité, en blocs de $0^m,25$ à $0^m,30$ de côté ; celles qui sont employées pour les chaussées ou derrière les perrés peuvent avoir de moindres dimensions.

Maçonnerie et taille des moellons de parement. — Les parements de maçonnerie avec mortier, destinés à être rejointoyés sont divisés en deux classes :

Les parements en moellons piqués ou smillés ;

Les parements de moellons piqués, ciselés et échantillonnés.

Les moellons piqués ou smillés sont taillés à la hachette ou à la pointe sur leurs lits et joints, et à la hachette ou à la fine pointe sur leurs parements. Leurs arêtes doivent être vives et sans écornures, l'épaisseur des joints horizontaux ou verticaux ne jamais dépasser $0^m,01$ après la pose. Ils ont pour dimensions minima $0^m,10$ de hauteur, $0^m,20$ de largeur, $0^m,35$ à $0^m,45$ de queue pour les boutisses et $0^m,25$ pour les panneresses. Les lits et joints ne doivent présenter aucun démaigrissement jusqu'à $0^m,12$ au moins du parement.

Les moellons piqués, ciselés et échantillonnés sont taillés avec un soin particulier, leur parement est compris entre quatre ciselures régulières.

Les moellons sont appareillés par carreaux et boutisses, posés sur lit de carrière et à bain soufflant de mortier. Ils sont bien retenus et calés par derrière seulement et frappés au maillet jusqu'à ce qu'ils soient assis. Chaque assise est parfaitement dérasée et nettoyée avant la pose de l'assise suivante. Les joints verticaux des assises successives doivent être à recouvrement de $0^m,10$ au moins. La hauteur d'assise des moellons de parements piqués peut varier entre $0^m,10$ et $0^m,30$. Les lits sont toujours dans le prolongement de la maçonnerie de pierre de taille voisine, dont chaque assise correspond à deux ou plusieurs assises de moellons.

Maçonnerie en moellons bruts. — Pour la maçonnerie de remplissage on place toujours les moellons sur leur lit de carrière, à bain soufflant de mortier et frappés au maillet, de manière que les vides se remplissent complètement. On n'épargne pas le mortier ; cependant on comble, autant que possible, les interstices avec des éclats. Il faut toujours mouiller les matériaux avant l'emploi, nettoyer et arroser chaque assise avant de poser la suivante, et remplacer toutes les pierres vacillantes ou cassées. Les pierrres destinées aux maçonneries de remplissage sont simplement ébousinées jus-

qu'au vif; celles destinées à former parement intérieur sont grossièrement équarries au marteau.

Il faut ordinairement $0^{m3},40$ de mortier pour faire 1 mètre cube de maçonnerie de moellons ou de briques.

Un mètre cube de maçonnerie de moellons ou de briques exige donc :

$$0^{m3},45 \times 0,40 = 0^{m3},18 \text{ de chaux en pâte,}$$
$$\text{ou : } 0^{m3},60 \times 0,40 = 0^{m3},24 \text{ de chaux en poudre.}$$

Maçonnerie en pierre sèche. Perrés. — Les maçonneries en pierre sèche pour perrés et ouvrages analogues s'exécutent avec le même soin que les maçonneries à mortier. On en distingue de deux espèces : la première s'exécute avec des moellons déboutis au marteau pour le parement; la deuxième avec des moellons épincés.

Dans la maçonnerie sèche en moellons ordinaires, les pierres sont posées sans assises régulières, mais en bonne liaison, les moellons de parement étant déboutis au marteau et bien calés en queue. C'est la maçonnerie à joints incertains.

L'épaisseur des joints apparents ne doit pas dépasser $0^{m},02$, largeur maxima des vides à l'intérieur.

Pour les perrés, la queue des moellons sera régulièrement enracinée dans le matelas sur lequel ils reposeront.

Après leur achèvement, les perrés doivent présenter des surfaces planes ou courbes bien régulières, sans flaches ni parties saillantes. On ne doit y répandre de terre qu'après leur réception.

On emploie quelquefois par mesure d'économie la maçonnerie en pierre sèche dans les fondations d'ouvrages d'art, dans les murs de soutènement des remblais. Pour les revêtements de talus, la maçonnerie en pierre sèche a l'avantage de laisser aux eaux d'infiltration un écoulement constant.

La maçonnerie de perrés en moellons épincés s'exécute par assises régulières avec le même soin que la maçonnerie de parement en moellons piqués.

Les perrés en rivière reposent sur des enrochements formés de pierres de $\frac{1}{15}$ à $\frac{1}{50}$ de mètre cube.

On n'élève les perrés que par portions successives de 1 ou 2 mètres de hauteur et on laisse écouler un temps nécessaire pour que le tassement s'opère par degrés.

On choisit les moellons les plus gros pour former les assises de fondations et les chaînes montantes et aussi les mieux faits pour le couronnement.

Enrochements. — Les enrochements faits à sec sont de deux espèces : à pierres perdues ou à surface réglée. Pour ces derniers les moellons sont rangés de manière que la surface de l'enrochement ne présente pas d'inégalité de plus de $0^m,05$ à $0^m,10$, puis ils sont battus à la hie. On prend pour les enrochements les plus gros moellons que les carrières puissent fournir. Pour les enrochements sous l'eau, on emploie des moellons choisis ayant au moins $0^m,40$ en tous sens, et cubant au moins $0^{m^3},060$; on les jette avec soin à la main, de manière à faire prendre au massif la forme prescrite. On vérifie souvent cette forme par des sondages dirigés suivant les profils arrêtés.

Dès que les enrochements arrivent à la surface de l'eau, on les dresse et on les bat à la hie.

60. — Pierre de taille. — Toutes les pierres de taille sont choisies, autant que possible, dans les bancs les plus homogènes et les meilleures carrières. Elles doivent être non gélives, sans fils ni moies, ébousinées jusqu'au vif, c'est-à-dire débarrassées du *bousin* ou partie tendre du lit de carrière, parfaitement pleines, d'un grain égal et ayant toutes les qualités requises pour donner, après la taille, un parement très régulier, et rendre sous le choc du marteau un son plein et clair. Il faut toujours rejeter les pierres contenant des parties tendres celles qui, sous le choc du marteau, rendent un son sourd et se cassent en grains sablonneux au lieu de se briser en éclats à arêtes vives. On fait ordinairement les approvisionnements nécessaires pour chaque campagne, en laissant les pierres placées en délit, et exposées aux gelées avant d'être taillées.

Maçonnerie de pierre de taille. — La maçonnerie de pierre de taille s'exécute par assises régulières. Dans les assises courantes, les pierres sont appareillées par carreaux et boutisses, dont la longueur égale au moins une fois et demie la hauteur, et les joints montants sont à recouvrements de $0^m,20$ à $0^m,25$ au minimum. La pierre de taille doit toujours être posée sur son lit de carrière, sur une couche de mortier fin. On la bat au refus à l'aide d'une hie en bois du poids de 10 kilogrammes, de façon à réduire les joints horizontaux à $0^m,007$ ou $0^m,008$ et à faire refluer une certaine quantité de mortier dans les joints verticaux. On achève de remplir les joints en y faisant pénétrer du mortier au moyen de la fiche à dents et non par le coulage, qui est formellement interdit. Quand il est absolument impossible de poser les pierres à bain fluant de mortier, on peut, après leur pose à sec, les fixer en coulant du ciment gâché bien frais. Les joints verticaux ne doivent pas avoir plus de $0^m,006$ à $0^m,008$ d'épaisseur

Il faut dresser chaque assise parfaitement de niveau avant la pose de l'assise suivante, la balayer et l'arroser soigneusement avant d'y étendre la couche de mortier.

La taille des pierres doit être faite exactement suivant les panneaux. Les parements vus de la pierre sont proprement taillés à la grosse ou fine pointe, à la laye ou à la boucharde. Les parements vus sont sans écornures, épaufrures ni flaches, et entourés d'une ciselure de 2 à 3 centimètres de largeur uniforme. Les lits doivent être parfaitement dégauchis et taillés dans toute leur étendue ; les joints retournés d'équerre et taillés suivant des plans prolongés jusqu'à $0^m,10$ et même $0^m,20$ du parement selon le cas. Les précautions suivantes sont communes à toutes les maçonneries :

Une demi-heure environ avant l'emploi, arroser les pierres et moellons sur le tas ; arroser aussi, légèrement, mais fréquemment les maçonneries en cours d'exécution, afin d'en prévenir la trop prompte dessiccation ; dans les temps secs ou pluvieux, préserver les surfaces des nouvelles maçonneries au moyen de nattes et de paillassons ; enfin, toujours déposer le mortier dans des auges en bois, sur les chantiers et non sur les maçonneries mêmes et abriter ces auges au moyen de nattes dans les temps pluvieux ou très secs.

61. — Emploi des roches calcaires dans les constructions. — Les calcaires compactes, oolithiques et terreux fournissent, dit M. Burat, la plupart des moellons et des pierres d'appareils employés dans les constructions.

Les bancs exploités se débitent en pierre de *haut appareil* ou de *bas appareil*, suivant leur épaisseur ; car dans la plupart des cas, on doit replacer les pierres dans les constructions suivant le *lit de carrière*, c'est-à-dire les poser sur leur plan de stratification ; la puissance du banc, sain et solide, détermine le maximum d'épaisseur des pierres.

Les variétés compactes peuvent seules être employées en *délit*, c'est-à-dire être posées sur champ, comme pour les montants ou chambranles de portes ou de croisées. Les variétés terreuses réussissent rarement dans cette position et il faut monter ces parties verticales en chaînes, c'est-à-dire en blocs superposés, suivant leur lit de carrière.

On peut dire que la variété compacte finit là où l'on peut commencer à scier la pierre avec des scies à dents ; ces calcaires compactes ne pouvant être sciés qu'avec la scie à lame, aidée d'eau et de sable, puis taillés à la pointe-olle et au ciseau. Les calcaires compactes sont également susceptibles de

Les variétés terreuses peuvent non seulement être sciées avec la scie à dents, mais coupées à la hachette et au rabot.

Les calcaires les plus durs et qui absorbent le moins facilement l'eau, sont, en général, les meilleurs pour les constructions. Dans une carrière, on préfèrera les bancs les plus denses. Les blocs extraits doivent être sonores, surtout lorsqu'ils ont perdu leur eau de carrière. Les délits et flaches intérieures déterminent un son sourd et mat.

Beaucoup de calcaires terreux, très tendres en carrière, acquièrent la dureté suffisante pour les constructions lorsqu'ils ont perdu leur eau ; aussi doit-on faire attendre la pierre avant de l'employer. En hiver, on la fait attendre à l'abri, dans l'intérieur des carrières.

La craie est le type des calcaires tendres et terreux ; aucun calcaire n'est plus pur que la craie blanche des environs de Paris, qui ne peut cependant être utilisée comme pierre de construction, vu son faible état d'agrégation et son peu de résistance à l'écrasement.

La craie tuffau, quoique moins pure, est plus solide, surtout lorsqu'elle a perdu son eau de carrière.

La résistance à l'écrasement varie dans de larges proportions, elle a été fixée comme suit par centimètre carré :

	Densité	Résistance à l'écrasement
Marbre	2,60 à 2,72	600 à 790 kilogr.
Calcaire compacte liais . .	2,44	285 à 440 »
Calcaire liais à gryphées .	2,60	300 »
Calcaire roche	2,30	130 à 135 »
Calcaire oolithique	2,00 à 2,20	120 à 180 »
Calcaire lambourde. . . .	1,55 à 1,80	20 à 66 »

On voit que la résistance concorde toujours avec la densité, de telle sorte que la qualité d'un calcaire pour les usages de la construction peut être assez bien appréciée par la mesure de sa pesanteur spécifique. On n'emploie, d'ailleurs, les calcaires dans les constructions que sous le dixième de la charge nécessaire pour les écraser.

62. — Briques. — La brique est un parallélipipède rectangle dont les dimensions sont telles que la longueur, soit égale à deux fois la largeur plus un joint et l'épaisseur égale à la moitié de la largeur ou du moins approximativement.

Nous empruntons à l'ouvrage si consciencieux de notre ami Paul Bonneville, intitulé : *La Fabrication des briques et des tuiles* le tableau comparatif ci-dessous :

DÉSIGNATION	Longueur	Largeur	Epaisseur	Volume
	m	m	m	cc
Briques de Bourgogne	0,220	0,110	0,060	1.452
» dites de Montereau. . .	0,220	0,110	0,055	1.331
» de Sarcelles, rouges 1re grandeur	0,220	0,110	0,050	1.210
Briques de Sarcelles, rouges 2e grandeur	0,190	0,100	0,045	940
Briques dites de pays (Paris) . .	0,220	0,110	0,050	1.210
» » » » . .	0,220	0,100	0,060	1.320
» flamandes.	0,210	0,110	0,047	1.085
» anglaises	0,250	0,110	0,060	1.650
» anglaises	0,238	0,115	0,077	2.107
» anglaises	0,254	0,124	0,076	2.400
» hollandaises	0,260	0,120	0,054	1.684

Ces briques dont les dimensions varient avec les pays, peuvent être faites en argile crue, en plâtre, en matériaux agglomérés, enfin en argile durcie par une cuisson plus ou moins énergique. Les briques crues doivent être arrivées à un état de dessiccation complète par une longue exposition à l'air, pour résister à la gelée, et de plus recevoir un enduit imperméable qui les mette à l'abri de l'humidité.

Les briques cuites doivent être dures, sonores, bien cuites sans être vitrifiées, parfaitement rectangulaires et sans gauchissement ; il faut avoir soin de réserver les plus belles pour les parements.

La résistance à l'écrasement est variable suivant la provenance, en pratique on ne fait pas supporter aux briques plus de $\frac{1}{10}$ de la charge qui produit l'écrasement.

On a obtenu les résultats suivants avec certaines briques, tant à l'écrasement qu'à la traction ;

Désignation	Charge par centimètre carré qui produit l'écrasement
Brique de pays (Paris)	90kg,0
» » (Herblay)	38 ,2
» » (Sarcelles)	28 ,2
» mal cuite	40 ,0
» rouge	60 ,0
» dure, très cuite	150 0
» flamande, tendre	18 ,0

Désignation	Charge par centimètre carré qui produit l'écrasement
» de Hammersmith.	100 kg.
» de Bourgogne (Montereau)	110 »
» de Sarcelles, brune	125 »
» de Bourgogne, brune	150 »

Résistance à la traction

NATURE DES BRIQUES	Valeur de l'effort qui détermine la rupture pour une section de 1 centimètre carré
Briques de Provence, très bien cuites et d'un grain uniforme	19k5
Briques ordinaires, faibles	8,0
» de Bourgogne, brunes	20,7
» de pays (Paris), fort cuites	11,9

Les bonnes briques de construction sont solides, résistantes, sans fissures; elles se laissent tailler nettement, c'est-à-dire qu'elles donnent sous le coup de la hachette du maçon l'éclat qu'il veut détacher sans se briser au-delà et sans exiger plusieurs coups inutiles: elles ont des formes régulières et bien égales; elles ne sont pas gelives; si par des cas spéciaux les briques doivent présenter moins de résistance, ou être tendres, jamais ces résultats ne doivent être atteints par un manque de cuisson, car elles s'altéreraient alors sous l'influence des agents atmosphériques.

L'homogénéité de la texture, une cuisson régulière, une couleur uniforme, un son clair sont des caractères assez constants de bonnes briques.

Maçonnerie de briques. — On trempe les briques dans l'eau avant l'emploi, et on les fait glisser dans le mortier en les pressant fortement à la main pour les poser en long et en large, de manière à former liaison en tous sens. Les parements sont formés soit de briques boutisses (1), soit de briques panderesses (2) exclusivement, soit de la combinaison des deux systèmes. Dans tous les cas il est important de bien croiser les joints.

L'épaisseur des lits et joints ne doit pas dépasser $0^m,008$.

(1) Brique boutisse, dont la plus petite face forme parement.
(2) Brique panderesse, dont une longue face forme parement.

Il est bon dans la maçonnerie de briques, de placer, surtout près des parements et à des distances de $0^m,50$ au plus, des briques debout destinées à relier toutes les assises entre elles.

Il faut toujours rejeter toute brique cassée ou fendue pendant la pose.

(Proportion de mortier (59).)

63. — Maçonnerie de voûtes. — La construction des voûtes exige des soins tout particuliers. Dans les ponts biais et les viaducs à grande portée, voûtés avec des briques ou des moellons, les têtes et autant que possible les naissances et les clefs doivent être en pierre de taille.

Les moellons piqués et smillés, employés au parement des voûtes, sont taillés suivant la forme des voussoirs. On choisit à cet effet, les pierres les plus longues et n'ayant pas moins de $0^m,40$ de queue pour les grands ouvrages, et $0^m,33$ pour les petits.

Les moellons employés pour la maçonnerie intérieure des voûtes seront choisis parmi les plus beaux et les plus plats ; ils auront $0^m,10$ d'épaisseur et $0^m,30$ de longueur au minimum.

Ces moellons devront être posés de manière à prolonger jusqu'à l'extrados de la voûte, suivant la coupe de cette voûte, les assises des voussoirs formant parement. A cet effet, on termine chaque assise sur toute l'épaisseur de la voûte, aussitôt qu'on a posé les voussoirs des parements correspondants. On a soin de diminuer autant que possible l'épaisseur des joints normaux à la voûte, surtout dans le voisinage de la clef, pour laquelle on réserve les plus beaux moellons.

Le décintrement s'opère, suivant la nature des matériaux et les prescriptions de l'ingénieur, soit avant, soit après la prise complète des maçonneries. C'est surtout pour les gros matériaux que l'on effectue le décintrement avant la prise complète du mortier, qui se prête alors au tassement sans qu'il s'y détermine de solution de continuité. Pour les petits matériaux il est prudent d'attendre que les mortiers employés aient eu le temps de durcir. Si le mortier est remplacé par du ciment, il faut pour la même raison que précédemment, décintrer aussitôt après l'achèvement des travaux. Pour des voûtes de petite ouverture, on fait le décintrement à l'aide de cales en bois ; mais pour des ouvertures dépassant 10 à 15 mètres, il est préférable d'employer le décintrement au sable en sac ou en cylindres.

Quand plusieurs voûtes sont voisines, le décintrement doit s'opérer en même temps sur les voûtes, et le plus régulièrement possible. On trouvera au numéro 76 divers exemples de décintrement.

64. — Rejointoiements; enduits. — Après l'achèvement des maçonneries, les parements vus en pierre de taille, moellons, briques, etc., sont ragréés avec soin. On refouille les joints au crochet sur $0^m,02$ à $0^m,03$ de profondeur et, après les avoir arrosés, on les remplit d'un mortier spécial de composition déterminée. Les surfaces de rejointoiement sont parfaitement lissées à l'aide d'une spatule en fer, et tenues en retraite pour la maçonnerie en moellons, d'environ $0^m,01$ par rapport au plan des arêtes des pierres.

Lorsqu'un mur devra être crépi ou enduit, on enlèvera le mortier à la surface, en le grattant et en nettoyant bien les joints.

Les enduits à faire sur les faces extérieures des maçonneries ordinaires doivent recouvrir de $0^m,015$ environ les parties les plus saillantes des moellons. On peut les exécuter en deux couches; on mouille une première fois la surface que l'on pourra enduire dans la journée, et on en mouille de nouveau chaque partie, à mesure que l'ouvrage avance. Sur le mur ainsi préparé on fouette une première couche de mortier, d'une épaisseur suffisante pour arroser et dresser la surface, et avant qu'elle soit entièrement sèche, on la couvre d'une deuxième couche de mortier fin, qui fera disparaître les aspérités de la première. On lisse le mortier à la truelle, jusqu'à ce que le retrait, occasionné par la dessiccation, ne donne plus lieu à aucune gerçure.

On passe sur l'enduit, lorsqu'il est bien sec et après l'avoir nettoyé, une première couche de lait de chaux vive, puis une seconde, lorsque la première est parfaitement sèche.

65. — Bois de charpente. — La nature des bois de charpente varie avec les localités; cependant en Europe le chêne et le sapin sont le plus généralement employés. Le chêne auquel on donne la préférence est celui qui croît sur un sol argileux, compacte ou glaiseux. Les bois extraits des pays trop humides ou de montagnes arides offrent moins d'avantages que les premiers.

Le sapin du nord, qualité connue sous le nom de sapin rouge est le plus estimé; il doit avoir conservé toute sa résine.

Les bois de charpente de bonne qualité sont abattus en saison favorable, on ne les emploie généralement pas avant un an de coupe. Ils doivent être sains, droits; on rejette les bois gras, échauffés, ceux affectés de gerçures, pourritures, gélivures, roulures ou nœuds vicieux. On donne de la durée au bois en enlevant l'écorce et l'aubier (154).

Les bois sont approvisionnés, autant que possible, sous des hangars et dans

tous les cas empilés sur cales, de manière que leurs surfaces ne touchent pas la terre et ne se touchent pas entièrement entre elles.

Les bois dits en *grume* sont simplement écorcés.

Les bois non refaits sur les faces et dits *grossièrement équarris* pour travaux provisoires ou grossiers, ne doivent pas présenter de flaches de plus de $0^m,05$ de largeur; pour les bois refaits, on n'admet pas de flaches de plus de $0^m,02$.

Les bois dits *équarris* à vive arête, passés à la varlope ou au rabot, ne devront présenter ni flaches ni aubier, et seront exempts de toute espèce de défauts et imperfections.

Assemblages. — Les assemblages des charpentes doivent être particulièrement soignés, ils doivent être toujours parfaitement pleins, sans déjoints, ni épaufrures; les tenons, mortaises et embrèvements corrects et bien ajustés, sans jeu et sans inutile affaiblissement des bois. On les consolide, suivant le cas, par des boulons, étriers ou autres ferrures, ou simplement par des chevilles en bois. Il ne faut pas tolérer dans les assemblages aucune fausse coupe, ni aucune cale ou autre moyen de garnitures et de remplissage, même pour ceux destinés à recevoir des ferrures. Les trous de boulons doivent être exactement du diamètre de ces boulons, percés à la tarière et non brûlés.

Une bonne précaution à prendre, avant l'assemblage des charpentes ou la pose des ferrures, consiste à goudronner ou peindre à l'huile bouillante, convenablement lithargée, toutes les parties du bois destinées à être cachées par les assemblages et les ferrures.

Pieux et palplanches. — Les pieux de fondations sont en grume ou équarris.

Les pieux et les palplanches pour vannages sont toujours équarris à vive arête; leur extrémité inférieure est, suivant le cas, garnie ou non de ferrures. Ils sont enfoncés à la sonnette jusqu'à refus, leur tête étant consolidée par des frettes en fer forgé, qu'on enlève après le battage.

Tout pieu déversé ou battu hors ligne doit être arraché et remplacé. Il en sera de même de toute palplanche qui ne serait pas battue jointive et assem- précède, et de tout pieu ou palplanche qui éclaterait sous

ıt présenter un niveau parfait, surtout quand les pilots les chapeaux ou des grillages.

— Nous traiterons plus loin de la préparation des

bois pour les traverses ; on prend rarement cette précaution pour les ouvrages d'art, sauf pour les platelages : on se contente, comme nous l'indiquerons, de préserver autant que possible des influences extérieures les parties qui seraient le plus compromises (202 à 217).

Métaux. — Tous les métaux : fer, fonte, acier, plomb, zinc, bronze, laiton employés dans les constructions doivent être de première qualité. Leur provenance est indiquée dans chaque cas particulier par la spécification. Ils sont du reste soumis à des épreuves de traction, de compression ou de torsion qui exigent une résistance sans altération à des charges au moins *doubles* de la charge maximum qu'ils auront à supporter dans l'emploi.

Fonte. — On emploie la *fonte grise de première qualité*, susceptible d'être facilement travaillée au burin, au foret et à la lime. Elle doit être compacte, homogène, sans gerçures ni soufflures, présenter une surface exempte de traces de scories, une cassure à grains gris avec arrachements et une résistance à la traction d'au moins 1.500 kilogrammes par centimètre carré. On rejette toute fonte blanche ou truitée, ou celle prenant beaucoup de retrait à la coulée (182-183).

Il arrive souvent que les fontes de cette qualité résistent bien à toutes les épreuves pendant l'été et perdent de leur force de cohésion pendant l'hiver. On fait couler en même temps que les pièces des barreaux d'épreuves qui servent aux vérifications sur le retrait (182-183).

Les trous pour les assemblages des pièces de fonte entre elles ou avec les fers sont percés à froid ou alésés soigneusement suivant les strictes dimensions nécessaires pour qu'il n'y ait aucun mouvement dans les assemblages. La tolérance en plus ou en moins sur les épaisseurs des pièces de fonte doit être fixée pour chaque cas particulier.

Fonte malléable. — Le fer, à l'état de fonte malléable, a reçu de nombreuses applications dans la fabrication d'un grand nombre de pièces difficiles à forger. C'est surtout dans la construction des machines que ce métal, grâce aux perfectionnements apportés à sa fabrication, est appelé à prendre une certaine importance, à cause de l'avantage qu'il présente de produire, par voie de moulage, les pièces les plus compliquées.

La fonte malléable s'obtient en décarburant en partie les fontes de bonne qualité, c'est-à-dire les fontes contenant en minimes proportions les substances que le fer entraîne toujours avec lui dans son passage par le haut-fourneau (167 et suivants).

Depuis un certain nombre d'années les fabricants de fonte malléable opèrent avec les fontes au bois d'Ulverstone (Ecosse) extraites de l'hématite rouge. Après le moulage, les objets sont placés au milieu de creusets remplis de minerai de fer oxydé et soumis à la température du rouge vif pendant trois, quatre, cinq fois 24 heures, suivant la grosseur des pièces et le degré de décarburation qu'on veut obtenir.

Le carbone de la fonte se dégage en partie dans cette opération et, jusqu'à une certaine profondeur, le métal acquiert absolument des propriétés analogues à celles du bon fer.

La densité de la fonte malléable se rapproche de celle de la fonte. L'aspect de la cassure et la nature des copeaux obtenus par le rabotage montrent que l'action décarburante n'est complète que sous une épaisseur de 4 à 5 millimètres et nulle au delà de $0^m,01$. Il suit de là que la première condition que doit réaliser une pièce pour qu'on puisse avantageusement la fabriquer en fonte malléable, c'est d'être suffisamment mince dans toutes ses parties. A moins de considérations particulières, il sera bon de ne pas dépasser 40 à 50 millimètres. Le coefficient d'élasticité de ce produit, compris entre ceux de la fonte et du fer, décroît à mesure que l'épaisseur des pièces augmente. D'après les expériences de M. Tresca sur des barres de 1, 2, 3, 4 centimètres de côté, les coefficients d'élasticité ont été les suivants :

Barreau de	$0^m,01$	de côté		18.929.000.000	kilogrammes
»	0,02	»		16.300.000.000	»
»	0,03	»		16.011.000.000	»
		Echantillon avec 1 croûte		16.579.000.000	»
»	0,04	»	» 2 »	16.240.000.000	»
		»	central . .	14.785.000.000	»

Une barre de 5 millimètres de côté et de $0^m,45$ de longueur a supporté un effort de traction de 35 kilogrammes par millimètre. La fonte malléable comme tous les corps obtenus par fusion, présente assez souvent des défauts de diverses natures qui produisent des écarts notables dans sa résistance. En résumé, on doit la faire travailler moins que le fer mais plus que la fonte et la rejeter pour les pièces devant résister à des chocs intenses.

La fonte malléable se vend à des prix qui varient suivant la difficulté du moulage, le poids, l'épaisseur, l'emploi, le degré de recuit, les déchets, la masse à fabriquer et les considérations commerciales.

Les applications de la fonte malléable dans les chemins de fer sont de plus

en plus nombreuses : ferrures de vagonnets, porte-lanternes pour les disques et signaux, clefs de toute grosseur, pièces et boîtes de serrures, verrous, charnières diverses, écrous, clefs de robinets, manivelles, couvercles de boîtes à graisse, garde-corps légers et plus résistants que la fonte ordinaire, etc.

Fers. — Les fers employés par les compagnies de chemins de fer doivent suivant leur emploi posséder des qualités assez différentes les unes des autres. Toutes les classes de fer sont utilisées, mais malheureusement les compagnies ne se sont pas mises d'accord pour adopter la même classification.

Le fer est nettement défini par sa texture : fer à grains, à nerfs ou mixtes, ses qualités de résistance sont constatées par des épreuves à chaud ou à froid qui permettent d'apprécier sa ductilité, sa tenacité, son élasticité, sa soudabilité, son homogénéité.

Le fer à grains doit présenter une cassure régulière de couleur gris-clair dont *les grains* sont d'autant plus petits que le fer est de meilleure qualité. Au contraire plus le fer se rapproche de la fonte et plus le grain est gros, plus on voit de facettes brillantes.

La cassure du fer à nerf présente l'aspect d'un déchirement de fibres soudées entre elles.

Plus le fer est résistant, plus les filaments sont longs.

La couleur en est plutôt blanche et l'extrémité de chaque fibre présente une cassure distincte de celle de la voisine.

Ces trois natures de fers se retrouvent dans les catégories de fers qui suivent :

1° catégorie. — Fer fin ou au bois ;
2° — — Fer fort supérieur ;
3° — — Fer fort ;
4° — — Fer ordinaire.

La résistance absolue à la traction, l'allongement et la striction sont déterminés par les cahiers des charges et sont variables suivant les compagnies de chemins de fer, aussi bien en France qu'à l'étranger. Nous souhaitons qu'il soit donné suite au vœu du Congrès international de mécanique appliquée tenu à Paris en 1889 demandant *qu'une Commission internationale fixe les unités communes destinées à exprimer les différents résultats des essais de matériaux et introduire une certaine uniformité dans les méthodes d'essais;* et que ses décisions soient rapidement connues.

Nous donnons aux annexes des exemples de cahier de charges qui pourront servir de guide dans chaque cas particulier.

On constate l'homogénéité du métal en cassant une barre de fer en plusieurs points. Les cassures doivent avoir le même aspect sans présenter de pailles, gerçures ou autres défauts.

La ductilité des fers de forge est reconnue par l'épreuve des trous, du pliage, du rabattement, des crochets etc.

Les épreuves se font généralement à chaud mais on fait aussi des épreuves de pliage à froid.

On reconnaît la qualité de soudabilité, en soudant deux extrémités d'une même barre de fer précédemment coupée et, après refroidissement, en prenant une éprouvette comprenant la partie soudée que l'on soumet aux essais à la traction. Les résultats obtenus doivent être sensiblement les mêmes que ceux des barres ordinaires, mais il est accordé une tolérance fixée généralement à 5 % en moins pour la résistance, et de 20 à 25 % pour l'allongement. Cette tolérance dépend de la destination des fers.

Quand on soumet une éprouvette à des charges successives allant en augmentant on voit se former en un point de la tige une diminution de section qui va toujours en s'accentuant jusqu'au moment où la rupture se produit en ce point. Le rapport de la section ainsi réduite à la section de l'éprouvette s'appelle striction.

La Compagnie des chemins de fer d'Orléans a introduit dans ses cahiers des charges la valeur de la striction pour chaque catégorie de fer et exige que la somme de la résistance par millimètre carré et la valeur de la striction donnent un chiffre déterminé.

La même compagnie classe les tôles de fer comme suit :

Tôles puddlées, fer commun ;
Tôles en fer corroyé ;
» fort ;
» fort supérieur ;
» fer fin ;
» fer fin supérieur.

En outre des essais ci-dessus on procède aussi à des essais de pliage à froid dont l'angle est fixé suivant la classification donnée à la tôle. Nous traiterons ultérieurement des essais à faire subir aux tôles de chaudières Tome IV.

Acier. — L'emploi de l'acier tend à se développer de plus en plus, et les

chemins de fer remplacent le fer par ce métal toutes les fois que cette substitution ne présente aucun inconvénient ou supplément de dépense notable.

On admet maintenant l'acier dans la construction des ouvrages d'art au lieu et place du fer soit pour les tabliers, soit pour les palées métalliques. On l'a toujours employé pour les rouleaux de glissement des tabliers et pour les pièces soumises à des efforts considérables.

Ajoutons que le prix de vente de ce métal s'étant abaissé considérablement ses qualités ont pu naturellement être utilisées sur une vaste échelle.

Pendant longtemps on a prétendu juger de la qualité de l'acier à sa cassure, mais la métallurgie pouvant fournir au commerce un métal ayant toutes les apparences du grain fin, serré et brillant de l'acier véritable mais ne possédant qu'une faible partie de ses propriétés essentielles, on procède à des essais et à des épreuves appropriés à la nature des efforts que la matière est appelée à subir. (165 à 179.)

Plomb et zinc. — Le plomb et le zinc neufs doivent être de première qualité, doux et de la plus grande pureté. Les vieux plombs ne sont employés que pour les scellements et sur les ordres de l'Administration (tome II).

Assemblages. — Les pièces de fonte et de fer sont ordinairement assemblées à l'usine avant d'être expédiées sur la ligne. Elles sont ajustées de manière à présenter un ensemble régulier et sans gauchissement. Chaque pièce est ensuite numérotée pour la facilité de la pose. L'ajustage et la pose de toutes les pièces de fer et de fonte doivent d'ailleurs être faits avec la plus grande exactitude.

On trouvera des indications plus détaillées sur les conditions de fabrication et de réception des pièces métalliques aux chapitres V et VII de cette première partie.

67. — Peinture. — Les mélanges pour la composition des couleurs sont sous la surveillance d'un agent préposé par l'Ingénieur. Il est bon de n'employer pour les blancs que le blanc de zinc ou le blanc de céruse, et pour les noirs que le noir d'ivoire. Les matières colorantes doivent être parfaitement broyées et non infusées. Elles sont broyées et lavées à l'eau, puis rebroyées à l'huile.

L'huile varie suivant les localités, mais elle doit être dans tous les cas épurée. Les blancs à l'huile sont ordinairement [illegible] parties en poids de blanc de zinc, et [illegible] d'huile.

L'huile employée pour recouvrir les bois doit avoir bouilli avec $\frac{1}{20}$ de son poids de litharge, et être aussi chaude que possible.

Le mastic est composé de 0,66 de blanc d'Espagne, de 0,34 de blanc de zinc et de la quantité d'huile nécessaire pour réduire le mélange en pâte ferme.

Les peintures sont appliquées à deux ou trois couches, selon les prescriptions du cahier des charges. On couvre d'abord les bois d'une couche d'impression à l'huile bouillante préparée comme nous venons de le dire. On remplit ensuite avec du mastic toutes les fentes et gerçures, puis on applique successivement les couches de peinture, bien également et assez épaisses pour que tout aspect de bois ait disparu sous la deuxième couche.

Les fontes et fers sont d'abord recouverts de deux couches de peinture rouge au minium, quelquefois même d'une couche de blanc ou de gris de zinc avant l'application des couleurs prescrites.

68. — Goudron, coaltar, asphalte. — On n'emploie que le goudron végétal bouilli avec addition de chaux réduite en poudre par l'exposition à l'air de manière à lui donner une certaine consistance. Les goudronnages sur bois sont donnés à deux ou trois couches. On commence toujours par échauffer les bois avec de la paille, afin de les dessécher et de faciliter l'adhérence du goudron. Le goudron est ensuite appliqué bouillant, en le faisant pénétrer le plus possible dans tous les joints.

Avant l'assemblage des pièces de charpente, on enduit de goudron, comme nous l'avons dit, les tenons, embrêvements, feuillures et même les boulons. Dans certains cas, on applique entre les faces d'assemblages une feuille de papier ou de carton bien trempé dans le goudron ou dans l'huile.

Le coaltar, produit de la distillation du goudron, est employé quelquefois comme couverte de chapes de voûtes, ou murs de soutènement exposés aux infiltrations. Il doit être débarrassé d'huiles essentielles, pur et assez liquide pour pouvoir être étendu à froid avec la brosse à long manche.

Chapes. — L'asphalte et les mastics bitumeux destinés à l'exécution des chapes sont préparés d'avance en pains et remis en fusion pour leur emploi. Ils contiennent en moyenne 16 % de bitume; on les casse en morceaux de 5 à 7 centimètres de diamètre au plus, pour les mettre en fusion. La fusion s'opère dans des chaudières contenant environ 150 kilogrammes de mastic ; on la conduit de manière à ne faire perdre au mélange que 2 % environ de bitume.

Le coulage se fait par bandes de $0^m,75$ à $0^m,85$ de largeur, sur une aire en béton bien dressée et bien séchée.

Etendu et comprimé d'abord à la spatule, le mastic sera ensuite serré de nouveau et lissé au frottoir, puis saupoudré de sable tamisé très fin et très chaud, que l'on incruste également au frottoir à force de bras. Il ne faut ajouter le sable que lorsque toutes les bulles ont été crevées avec un outil tranchant. Les raccords et soudures d'une bande à l'autre seront faits avec le plus grand soin et passés au fer chaud ; on s'arrangera pour que les raccords des différentes sections de bandes ne se correspondent pas d'une bande à la suivante. Les mastics bitumineux doivent être posés sur des surfaces bien sèches. On peut faciliter l'adhérence du mastic en chauffant les surfaces au moyen d'un brasier ou en les recouvrant d'une couche de bitume bouillant, au moyen d'un pinceau. La couche d'asphalte peut avoir pour les chapes 0,01 d'épaisseur, et pour les dallages 0,015. Quand la chape n'est pas parfaitement sèche, il vaut mieux faire l'enduit d'asphalte en deux couches, la première seule recevant l'impression de l'humidité qui produit des bulles dans l'asphalte, et par suite de petites fentes que la deuxième couche masque parfaitement.

En Autriche, sur le chemin du nord du Tyrol, les chapes des voûtes étaient faites en asphalte artificiel, composé de goudron, poudre de brique, chaux vive, sable et sulfate de fer. Les grandes voûtes sont recouvertes d'un pavage en briques à bain de mortier, puis d'une couche d'asphalte de $0^m,007$ d'épaisseur. Pour les petits ouvrages, on emploie seulement des chapes en mortier.

En Bavière, certains ponts ont été recouverts de chapes composées de 18 parties en poids de sable, 24 de chaux en poudre ou de poussière des chemins ; 13,5 de colophane et 7,25 de goudron. Le tout est mélangé et chauffé, en ayant soin d'augmenter ou diminuer la quantité de goudron suivant la température au moment de l'emploi. Le mélange est placé en couches de 3 à 5 millimètres d'épaisseur, et repassé au fer chaud pour bien boucher les fentes. Ces chapes revenaient à 2 francs environ par mètre carré.

En France on emploie ordinairement l'asphalte de Seyssel et le bitume de Bastennes.

69. — Résistance des principaux matériaux. — Le poids du mètre cube et la résistance des divers matériaux varient avec tant de circonstances, et les expériences de toute nature faites jusqu'à présent ont donné des résultats si différents les uns des autres que les valeurs recueillies ne

doivent servir que comme points de repères ou de renseignements approximatifs.

Quoiqu'il en soit, nous ajoutons aux considérations précédentes quelques moyennes consignées dans les tableaux qui suivent. Ces tableaux peuvent être consultés quand il s'agit de travaux peu importants; mais lorsqu'on se trouve en présence d'un travail considérable on doit, tout d'abord, faire des essais sur les matériaux dont on peut disposer et n'arrêter les dimensions des pièces à mettre en œuvre qu'en conséquence de ces essais.

Les Ingénieurs attachés aux chemins de fer trouvent d'ailleurs dans leurs ateliers et auprès des constructeurs et fabricants tant de facilités, qu'ils ne doivent pas hésiter à effectuer des expériences dont le caractère d'utilité est trop évident pour qu'il soit nécessaire d'insister davantage à ce sujet.

NATURE DES MATÉRIAUX	POIDS DU MÈTRE CUBE			Charge de rupture à la traction par centim. carré	Charge de rupture à l'écrasement par centim. carré	OBSERVATIONS
	Vert	Demi-sec	Très sec			
Bois						
Gaïac.	1.400	»	1.300	»	»	Les poids des bois que nous indiquons ici sont extraits en grande partie de l'ouvrage de J. Burger sur l'agriculture pratique, et d'après Hartig.
Teak	1.000	»	700	1.100	»	
Chêne rouvre . . .	1.300	1.100	830	800	500	
Chêne à grappes . .	1.270	1.070	870			
Hêtre.	1.070	920	820	800	600	
Erable	1.050	920	800			
Orme	1.130	920	790	1.000	700	
Frêne.	1.050	950	810	1.200	600	
Peuplier noir . . .	990	700	500	»	300	
Tremble	900	660	550			
Peuplier blanc . . .	950	»	600			
arme	1.050	930	850	»	»	
. . . . .	1.020	790	640	»	»	
. . .	1.110	»	670	700	450	
.	1.060	810	570			
	[illegible]100	»	680			
		»	650			

NATURE DES MATÉRIAUX	Poids du mètre cube	Charge de rupture à la traction par centim. carré	Charge de rupture à l'écrasement par centim. carré	OBSERVATIONS
Métaux				
Fer forgé	7.550[1]	3.000 — 6.000	4.000	1. Dans la pratique on fabrique peu de fer dont la densité dépasse 7550 kilog. et atteigne 7780 kilog. densité théorique du fer parfaitement pur et corroyé.
Tôle laminée — dans le sens du laminage	»	4.100	3.800	
Tôle laminée — perpendicul[r] au sens du laminage	»	3.600		
Fil de fer	»	5.000 — 7.000	»	
Câble en fil de fer	»	3.000[2]	»	2. Navier.
Chaîne — non étançonnée	»	2.400	»	3. Bornet.
Chaîne — étançonnée	»	3.200	»	4. Rennie.
Fonte	7.100[5]	1.300	8.000	5. La densité de la fonte atteint rarement 7.200 kil. Elle se tient le plus souvent à 7.100 kilog. et quand la fonte est surchargée de métalloïdes sa densité descend quelquefois à 6850.
Acier	7.820[6]	4.000-10.000	4.000	6. Le poids de l'acier s'abaisse souvent à 7.750 kil. mais il arrive aussi à 8.050 kilog. (Bessemer).
Cuivre battu	8.950	2.400	7.250	
Cuivre fondu	8 850	1.340 [3]	»	
Laiton fin	8.450	1.260	»	
Bronze	»	2.300	»	
Fil en cuivre rouge	»	4.000-7.000	»	
Fil en laiton	»	5.000-8.000	»	
Etain	7.290	300	1.100	
Plomb	11.350	130 [4]	550	
Zinc	7.190	550	»	
Matériaux divers de construction				
Terre végétale	1.250	»	»	
Argile et glaise	1.700	»	»	
Sable fin et sec	1.400	»	»	
Sable fin et humide	1.900	»	»	
Sable fin de rivière, humide	1.800	»	»	
Sable, gravier, cailloutis	1.450	»	»	
Pierre à plâtre	2.200	»	»	
Plâtre cuit	1.250	»	»	
Plâtre gâché et employé	1.500	5 à 10	40 à 90	Suivant qu'il a été gâché plus ou moins serré, d'après M. Vicat.
Maçonnerie de moellons	2.200	»	»	
Maçonn. de briques cuites	1.800 à 1.975	7	100	
Maçonn. de pierre de taille	2.500	»	»	

NATURE DES MATÉRIAUX	Poids du mètre cube	Charge de rupture à la traction par centim. carré	Charge de rupture à l'écrasement par centim. carré	OBSERVATIONS
Matériaux divers de construction (suite)				
Chaux hydraulique vive sortant du four . . .	850	»	»	
Chaux hydraulique et en pâte ferme	1.400	»	»	
Chaux hydraulique et en poudre.	700	»	»	
Basaltes	2.900	»	2.000	
Porphyre	2.800	»	2.400	
Granit	2 700	»	600	
Grès dur.	2 550	»	890	
Grès très tendre . . .	2.500	»	4	
Meulière compacte. . .	2.400	»	»	
Meulière poreuse . . .	1.300	»	»	
Marbre	2.700	»	»	
Ardoise	2.100	»	»	
Ciment de Portland . .	1.300	»	»	
Ciment romain. . . .	1.200	»	»	
Pierre à ciment de Vassy.	2.500	»	»	
Ciment de Vassy, à la sortie du bluttoir	800	»	»	
Ciment de Vassy, dans les barriques .	1.180	»	»	
Ciment de Vassy, à la sortie . . .	960	20	»	
Ciment de Vassy, compression maxim.	1.500	»	»	
Mortier de chaux grasse.	»	1 à 4	20	
Mortier de chaux hydraul.	»	7 à 15	70	
Mortier de cim. de Vassy.	»	10 à 15	150	
Bétons agglomérés. . .	»	20 à 25	200	
Bétons de granit . . .	»	7 à 12,30	»	Expériences faites à Yumiden (Hollande).
Bétons de brique . . .	»	6,75 à 10,90	»	

Résistance à la traction. — La maçonnerie n'a généralement pas à résister à un effort de traction mais il y a cependant quelques exceptions [illegible] es construits en béton).

[illegible] n en Hollande, de nombreux essais pour déterminer la [illegible] la traction et on a constaté que la grosseur des pierres

n'avait aucune influence sur la résistance, mais qu'il était préférable d'employer des pierres en granit ou des galets d'inégales grosseurs, tandis qu'avec la brique, la résistance s'accroît un peu lorsque les morceaux diminuent de grosseur, et qu'il est préférable que les morceaux soient d'égales dimensions, suivant les proportions de ciment on a obtenu les résultats du tableau ci-dessous :

MORTIER		PIERRE	RÉSISTANCE A LA TRACTION EN KILOGR. PAR CENTIMÈTRE CARRÉ		
ciment	sable		Granit	Galets	Briques
2	3	5	12.30	9.44	10.90
1 1/2	3 1/2	5	7.65	8.22	8.20
1 1/4	3 3/4	5	7.04	7.30	6.75

Dans la pratique, les pièces de bois ne peuvent être soumises à une traction permanente supérieure au $\frac{1}{10}$ de la charge de rupture, à cause de la prompte altération de la matière.

La charge permanente dans les constructions provisoires ne doit pas dépasser pour les fers $\frac{1}{5}$ et pour la fonte $\frac{1}{4}$ de la charge de rupture. Pour les constructions de grande durée, on ne fera travailler le fer ou la fonte qu'au $\frac{1}{6}$ de la charge de rupture, et on évitera la fonte pour les constructions exposées à des chocs.

Pour les cordes, il ne faut jamais les soumettre à une charge plus grande que la moitié de celle correspondant à la rupture, l'allongement permanent qu'elles subissent est alors égal à $\frac{1}{10}$ de leur longueur tandis qu'au moment de la rupture, l'allongement atteint quelquefois $\frac{1}{6}$ de la longueur primitive.

Nous donnons ci-dessous un tableau de la résistance des cordes en rappelant que pour tous les produits fabriqués il est indispensable de procéder à des essais directs :

NATURE DE LA CORDE	DIAMÈTRE	CHARGE DE RUPTURE par millimètre carré
Corde blanche en chanvre	au-dessous de 14 m/m	8,80 kg.
» » »	de 14 à 17 m/m	6,50
» » »	de 17 à 23	6,00
» » »	de 40 à 55	5,50
» goudronnée	quelconque	4,40

D'après Coulomb la résistance d'une corde goudronnée ne serait que les $\frac{2}{3}$ ou les $\frac{3}{4}$ de la même corde non goudronnée ; cette indication ne doit pas être suivie d'une façon absolue, cependant il est indiscutable que le goudron facilite le glissement des divers éléments.

D'après Duhamel, la résistance d'une corde mouillée ne serait que le $\frac{1}{3}$ de celle de la même corde sèche, on admet même généralement qu'elle n'en est que la moitié.

Résistance à la compression. — D'après Rondelet, la résistance d'un cube de bois à l'écrasement étant 1, celle des poteaux sera représentée par les nombres du tableau suivant, dans lequel r désigne le rapport de la hauteur du poteau au côté de la base :

Rapport	r	1	12	24	36	48	60	72
Résistance	R	1	$\frac{5}{6}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{24}$

M. Morin, en admettant, avec Rondelet, que la charge permanente de poteaux en bois puisse s'élever au $\frac{1}{7}$ de la charge de rupture, et que la résistance du cube de chêne soit de 420 kilogrammes par centimètre carré, a formé le tableau suivant des charges que l'on peut faire supporter aux poteaux en chêne :

Rapport r	12	14	16	18	20	22	24	28	32	36	40	48	60	72
Charge kilogr.	44.3	42	39.4	37	35	32.7	30	26	22	19.1	15.4	10.2	5.4	2.5

Le même auteur, en appliquant une formule établie par Hodgkinson à un poteau de chêne fort, de 0,15 d'équarrissage, a obtenu les charges suivantes par centimètre carré :

Rapport r	12	14	16	18	20	24	28	32	36	40	48	60	72
Charge kilogr.	178	131	100	79	64	44.5	32.8	25	19.8	16	11.1	7.1	4.9

Ce tableau en désaccord avec le précédent, semble n'être applicable qu'aux constructions temporaires ; pour des constructions durables, on fera bien de donner la préférence au premier.

Les pilots de fondations complètement enfoncés dans le sol, se chargent de 30 à 35 kilogrammes et quelquefois plus par centimètre carré.

En général on ne doit pas dépasser pour la charge permanente des bois $\frac{1}{10}$ de la charge de rupture pour les constructions durables, et $\frac{1}{5}$ pour les constructions temporaires peu importantes.

Pour les fontes, la charge permanente ne doit pas dépasser, dans aucun cas $\frac{1}{5}$ ou $\frac{1}{4}$, de celle de rupture.

D'après une formule établie par Hodgkinson, en supposant la résistance maxima de la fonte égale à 8.000 kilogrammes par centimètre carré, et en la faisant travailler au $\frac{1}{6}$ de cette charge, on peut dresser le tableau suivant applicable à tous les piliers en fonte, dont la hauteur varie de quatre à cent fois le diamètre :

Rapport r	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Charge kilogr.	1333	746	476	297	195	169	98	74	58	46	38

D'après Hodgkinson, la résistance à la rupture d'un pilier est réduite des $\frac{2}{3}$ au moins quand l'effort qu'il supporte est dirigé suivant la diagonale et non suivant l'axe. La résistance des piliers longs est trois fois plus grande quand les extrémités sont plates et perpendiculaires à l'axe et à la direction de l'effort que lorsqu'elles sont arrondies.

Le renflement des colonnes vers le milieu de leur longueur n'augmente leur résistance que de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{7}$.

Pour le fer on peut admettre que la résistance de rupture maxima est de 4.000 kilogrammes par centimètre carré. En faisant travailler ce métal au $\frac{1}{3}$ de la résistance de rupture, on conclut de la formule le tableau suivant :

Rapport r	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Charge kilogr.	800	500	457	400	340	285	239	200	168	143	122

Pour les pierres, il convient de ne les employer comme supports isolés que sous des hauteurs n'atteignant pas douze fois la plus petite dimension de la

section transversale. En général on ne fait pas supporter aux matériaux de construction une charge permanente dépassant le $\frac{1}{10}$ de la charge de rupture.

On va quelquefois au $\frac{1}{6}$ pour les constructions très légères, mais pour les piliers isolés des constructions en moellons, en petits matériaux, ou même en pierres de taille devant présenter une grande durée, on réduit souvent la charge permanente au $\frac{1}{15}$ et même au $\frac{1}{20}$ de la charge de rupture. On a remarqué que les pierres soumises à l'écrasement résistent d'autant mieux que leur section se rapproche davantage de la forme circulaire.

M. Desjardins, dans la *Routine de l'établissement des voûtes* donne les valeurs suivantes du coefficient de résistance pratique à l'écrasement, par mètre carré, selon les diverses espèces de maçonnerie qui peuvent être adoptées pour l'établissement des voûtes. Ces valeurs sont, dans plusieurs cas, susceptibles d'augmentation.

Maçonnerie en moellons informes, en béton	5.000	kg.
» » dits pendants	10.000	»
» » équarris, bien posés. . . .	20.000	»
» » appareillés en coupe . . .	30.000	»
» en pierres de taille appareillées	50.000	»

Des essais faits sur des échantillons courts pris sur différents métaux ont donné les résultats suivants comme résistance à l'écrasement :

Plomb coulé	5kg40	par millimètre carré.
Etain coulé	10,87	
Cuivre rouge corroyé.	72,45	
Laiton corroyé	115,80	

§ III.

Construction

70. — Généralités. — Dans l'établissement d'un projet de chemin de fer on doit prévoir à certains points des ponts ou viaducs au lieu de remblais importants. Cette détermination de l'emploi d'un ouvrage, métallique ou non, à la place d'un remblai dépend de nombreuses conditions locales : il y a lieu de considérer les distances et difficultés de transport ; l'abondance

plus ou moins grande des carrières de pierres, la nature des matériaux destinés aux remblais ou aux ouvrages, la hauteur de ces remblais, le nombre et le débouché des passages à réserver soit pour les routes, soit pour les eaux, etc.

Enfin, en dernier lieu, la question la plus importante à examiner est celle du prix de revient.

Aucune règle absolue ne saurait être indiquée ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte en examinant attentivement ce qui précède ; on peut admettre assez généralement, suivant que la ligne est à une ou deux voies, que lorsque le remblai atteint une hauteur de 15 à 24 mètres il y a lieu d'examiner s'il n'est pas plus économique d'y substituer un pont ou un viaduc, mais il faut encore ne pas omettre de tenir compte de la largeur de la voie ($0^m,60$ ou $0^m,75$, $1,^m45$ ou $1^m,67$).

L'adoption d'un viaduc en maçonnerie ou d'un viaduc métallique dépend surtout de la dépense. C'est donc par un avant projet et un devis qu'on doit fixer son choix. Ce serait sortir du cadre de cet ouvrage que de nous étendre davantage et nous renvoyons nos lecteurs aux ouvrages spéciaux (1).

Dans l'établissement des projets d'ouvrages d'art d'un chemin de fer, on doit considérer l'importance du trafic qu'il doit desservir. Sur les lignes appelées justement grandes artères, et qui sont destinées à avoir des recettes importantes, on n'accorde qu'un intérêt secondaire au coût de la dépense. Il n'en est pas de même des lignes de second ordre, dont le trafic ne promet pas une large rémunération, pour lesquelles on doit s'attacher à réduire au minimum les dépenses d'installation et la durée d'exécution. Généralement la construction des ouvrages d'art en maçonnerie ou en métal entraîne de longs retards dans l'achèvement et coûte très cher, surtout là où les matériaux et la main-d'œuvre spéciale font défaut.

On échappe souvent à ces inconvénients en adoptant le système des constructions provisoires et en l'appliquant de la manière la plus complète, ainsi que le fait la Compagnie des Chemins de fer du sud de l'Autriche sur ses lignes secondaires, et la Compagnie des Chemins de fer de la Turquie d'Europe sur tout son réseau.

Là, en effet, on établit sur tous les cours d'eau et sur toutes les vallées, les aqueducs, ponceaux, ponts et viaducs en bois, sous des dispositions calculées

(1) Voir : *Calcul des constructions métalliques* par LANGLOIS.
Théorie et pratique de l'Art de l'Ingénieur, par L. VIGREUX.
Traité de la Construction des Ponts et Viaducs, par M. MORANDIÈRE.
Cours de Construction des Ponts, par M. CROIZETTE-DESNOYERS.

pour suffire, pendant de longues années, à la circulation des trains les plus pesants et les plus rapides remplaçant même les piles et culées, ordinairement en maçonnerie, par des palées en charpente disposées pour en permettre le remplacement ultérieur sans interrompre ni compromettre la circulation.

Ces exemples ont été suivis par d'autres Compagnies, surtout pour des lignes construites dans des pays éloignés des centres métallurgiques car, en réduisant par ce procédé, et sur de larges proportions, les frais de premier établissement et la durée d'exécution, on retrouve dans les intérêts des sommes économisées, l'avancement de l'ouverture à l'exploitation et le développement plus rapide du trafic, une ample compensation des sacrifices que le capital s'impose en ajournant la construction des ouvrages définitifs. Ce sacrifice même disparaît quand on tient compte de cette circonstance que le chemin de fer en exploitation sert alors d'auxiliaire puissant dans l'exécution de ces ouvrages, qui édifiés prématurément reviennent à des prix presque toujours très élevés.

La nature du terrain, le développement du trafic, certaines conditions locales, etc., imposent souvent des modifications importantes aux ouvrages de la voie. L'exploitation des chemins de fer offre de fréquents exemples de substitution d'un ouvrage à un autre dont les dimensions ou l'état des matériaux ne répondent plus aux besoins du moment ; d'autres fois il s'agit de construire un pont ou viaduc où il n'en existait pas encore.

Ces travaux doivent être exécutés sans compromettre en rien la circulation sur la ligne ou à ses abords.

Le remplacement d'un ouvrage en bois par une construction en pierre ou en métal, est le cas le plus fréquent.

S'il s'agit d'un pont en dessus des rails, il suffira de prendre des précautions pour que les échafaudages et dispositions adoptées remplissent parfaitement les conditions de sécurité à l'égard du public, des ouvriers et des trains.

Quand on doit construire ou remplacer un ouvrage en dessous des rails, sans arrêter le mouvement des trains, la question est un peu plus compliquée. Si c'est un pont à deux voies, on fait en sorte de supprimer la circulation sur l'une des voies, et le travail s'exécute à l'emplacement de la voie supprimée dans les conditions ordinaires, mais en ayant grand soin de blinder et étrésillonner très soigneusement toutes les parties avoisinant l'ouvrage, qui pourraient être ébranlées par le passage des véhicules.

Dans le cas où la circulation est maintenue sur les deux voies, il faut relever celles-ci d'une quantité suffisante pour pouvoir les soutenir par des supports en bois solidement étançonnés et contreventés. On raccorde la partie

relevée des voies avec celles qui sont conservées, au moyen de pentes et contre-pentes. De plus, et pendant tout le temps de la construction, des signaux de ralentissement sont faits à tous les trains en passage.

Ceinture de Paris. — Les travaux d'exhaussement ou d'abaissement du chemin de fer de Ceinture de Paris, pour la suppression des passages à niveau, ont été effectués sans interrompre la circulation de 130 à 170 trains journaliers. On a divisé le tronçon du chemin de fer à abaisser ou à exhausser en un certain nombre de sections destinées à être relevées ou abaissées l'une après l'autre, et à l'extrémité desquelles le profil définitif était raccordé au profil primitif par une rampe provisoire.

Entre le tunnel de Charonne et la rue de Charenton, on a poursuivi les travaux en avançant dans la direction du tunnel, en vue de réduire, autant que possible, l'étendue des rampes de raccordement, et les limites des sections ont été choisies de façon à ce que le service de voie unique ne s'étendit pas à deux stations de voyageurs à la fois. Le service des travaux a opéré l'exhaussement de chacune des sections ainsi formées en trois périodes :

1° La circulation des trains étant assurée sur l'une des voies, la voie extérieure par exemple, la plate-forme des terrassements était élargie du côté intérieur au niveau primitif et on posait une voie provisoire à une distance suffisante de la voie unique en exploitation, pour qu'il fut possible dans l'entrevoie élargie, d'établir ultérieurement, soit un talus de terrassements correspondant au relèvement projeté, soit un mur de soutènement provisoire.

2° La circulation des trains était reportée sur la voie provisoire ainsi établie ; la plate-forme du chemin de fer, dans la partie correspondante à la voie extérieure était ensuite exhaussée au niveau supérieur, et cette voie posée à son emplacement définitif.

3° La voie extérieure relevée était livrée à l'exploitation, l'exhaussement de la voie intérieure faisait l'objet de la troisième et dernière période.

Ces travaux ont été exécutés d'une façon remarquable si on tient compte des sujétions auxquelles ils étaient assujettis et du court délai qui leur était assigné.

71. — Substitution d'un ouvrage d'art à un remblai. — Construction d'un pont en maçonnerie en dessous des voies en exploitation. — On est souvent obligé de construire un pont ou un viaduc dans un remblai, sous un chemin de fer en exploitation. Ce cas s'est présenté, par exemple à Tagolsheim, ligne de [illegible]

quatre arches de décharge en maçonnerie de 4 mètres d'ouverture dans un remblai de 5m,60 de hauteur. On aurait pu procéder, comme on l'a fait souvent, par déplacement des voies, au moyen de remblais provisoires en suivant la marche ci-après (construction par anneaux, fig. 72) :

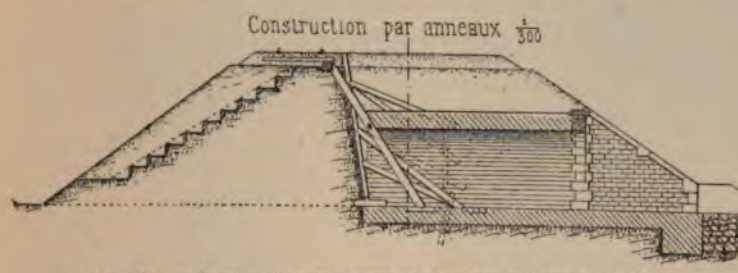


Fig. 72. — Construction par anneaux sous une voie en exploitation.

Première période. — Fouille d'une partie de la coupure du remblai du côté droit, emploi de ces déblais à élargir la plate-forme sur le côté gauche pour permettre le déplacement pour les quatre arches.

Deuxième période. — Ripage de la voie montante ; continuation des déblais de la coupure et commencement des maçonneries (fig. 73).

Troisième période. — Construction du deuxième anneau et blindage de la fouille. Pendant la construction du deuxième anneau de la première arche, on commence le premier anneau de la deuxième et ainsi de suite.

Quatrième période. — Rétablissement de la circulation sur la voie descendante, lorsque les quatre arches ont atteint le degré d'avancement indiqué; suppression de la voie montante et achèvement de la maçonnerie du côté gauche.

Ce système conduit à un étayement difficile et coûteux. Le mode d'exécution des maçonneries en plusieurs portions nuit à leur solidité et cause à l'entreprise beaucoup de faux frais. Il paraît donc préférable d'employer un pont de service simple, permettant d'exécuter les travaux dans les conditions ordinaires, sans rien changer au service des trains et sans danger pour les ouvriers ou les voyageurs.

Les figures 74, 75 et 76 représentent le pont de service employé à Tagolsheim. Ce pont, sans assemblages, se monte, se modifie et se démonte avec une grande facilité.

L'axe de l'ouvrage à construire étant déterminé, on pose sous chaque rail une longuerine L en sapin, destinée à supporter les traverses que l'on y fixe

à l'aide de clavaux. On profite, pour effectuer cette opération, d'un long intervalle entre les trains. Les longuerines doivent avoir un équarissage et une longueur proportionnels à leur portée. A Tagolsheim, la coupure à faire

Fig. 74.

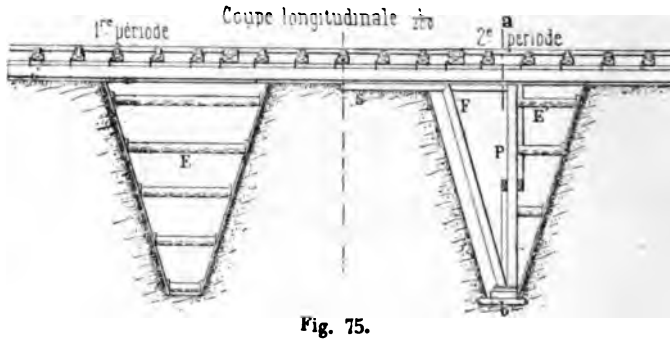


Fig. 75.

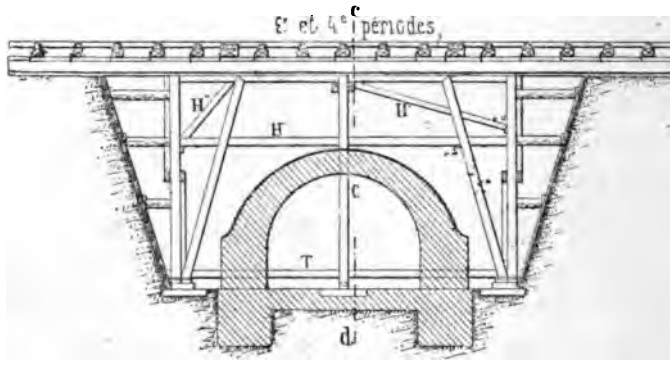


Fig. 76.

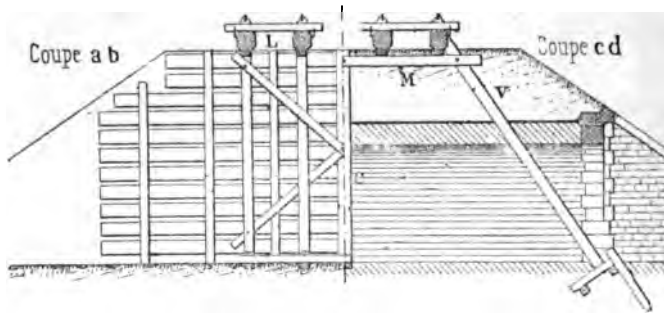


Fig. 74, 75 et 76. — Pont de service.

dans le remblai devait avoir une longueur de 13 mètres. Chaque longuerine devait pouvoir supporter au maximum 15.000 à 20.000 kilogrammes; on leur a donné 18 mètres de longueur et $0^m,45$ d'équarrissage; la portée est d'ailleurs divisée par des contre-fiches.

Les longuerines placées, on commence les fouilles dans le remblai, en formant deux tranchées blindées et étayées au fur et à mesure de leur avancement (fig. 74, première période) ; on pose alors dans chaque tranchée, et sous chaque longuerine, un poteau vertical P et une contre-fiche F, taillée en coupe biaise à son extrémité supérieure, de manière à coïncider avec la coupe analogue de la sous-poutre S. Ces deux pièces reposant sur une double semelle, on les serre fortement à l'aide de gros coins en chêne G. Une croix de Saint-André relie les quatre poteaux. Ces étais E (première période) sont remplacés alors par les étais E' (deuxième période), à mesure que l'on descend, en faisant le déblai du noyau laissé entre les deux tranchées.

La figure 75 représente l'ensemble du pont à l'instant où l'on peut commencer les maçonneries, sauf les pièces H, H', H'' que l'on ne place que pour le démontage. La pièce T, formant entrait, n'est placée qu'au moment de faire les fouilles de fondations ; elle repose sur le sol, par l'intermédiaire d'une semelle et de deux coins en chêne, permettant de la relever jusqu'à ce que, serrant fortement les deux contre-fiches F, elle puisse empêcher tout rapprochement de ces dernières (troisième période).

On creuse alors les fouilles inférieures, par petites parties, à pic, en les étayant convenablement et en les remplissant, à mesure, de béton bien pilonné. Arrivé au niveau du sol, on commence les maçonneries, en supprimant les pièces T aussitôt qu'elles gênent pour monter les pieds-droits.

On peut, si la construction est longue et la circulation active, soutenir les longuerines en leur milieu par une chandelle C et deux contre-fiches V reliées par deux moises M et convenablement contre-buttées. Ce chevalet sert d'appui pour l'étayement du blindage des parois supérieures pendant le démontage du pont. Pour faire le démontage, on enlève les contre-fiches F, après les avoir remplacées par les pièces H' H'' ; et les poteaux P, en soutenant le blindage à l'aide de pièces H ; on remblaye symétriquement de chaque côté de la voûte en enlevant successivement, à mesure qu'elles deviennent gênantes ou inutiles, les pièces H, H', H'', C ; on bouche les vides formés par ces dernières et on termine le remblai. Pour remédier au tassement qui se produit, malgré le pilonnage, on laisse aussi longtemps qu'on le peut les longuerines, en les maintenant à leur hauteur normale par le bourrage, avec une couche de ballast bien graveleux. Ces pièces enlevées, on les remplace par une couche de bon ballast.

Remarquons que les longuerines doivent reposer de chaque côté de la coupure faite dans le remblai, sur une longueur suffisante. Il convient de les caler, surtout à leurs extrémités, et de leur laisser une certaine élasticité,

sans laquelle les bords de la fouille seraient bientôt ébranlés. On peut, dans un cas analogue au précédent, ou sur une portion de remblai interrompue par un éboulement, maintenir la circulation au moyen de longuerines placées sous chaque rail, au niveau de la plate-forme des terrassements ; elles supportent un plancher formé de fagots serrés les uns contre les autres, recouverts d'une forte couche de ballast bien bourré, sur lequel repose la voie courante.

Sous ce plancher, on travaille sans craindre les effets de l'ébranlement produit par le passage des trains, cet ébranlement étant complètement annulé par l'élasticité des fascines (1).

Construction d'un pont en fer en dessous des voies en exploitation. Le système décrit plus haut n'est pas exempt de nombreux inconvénients surtout pour les lignes à une voie. Il entraîne nécessairement la construction de piles multipliées quand il faut ouvrir un large débouché dans le remblai, et dans des terrains difficiles l'exécution ne laisse pas d'être très coûteuse et pénible.

La majeure partie de ces inconvénients disparaît quand on emploie le fer qui se plie avec une merveilleuse souplesse à toutes les exigences de chaque situation. Nous trouvons un exemple de ces facilités offertes par ce métal, pour le cas dont il est question, dans les travaux de restauration sur l'ancienne ligne du Victor-Emmanuel, reprise par la Compagnie des Chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée. Le torrent de l'Arc est franchi sur la station de Saint-Michel à Culoz, à l'aide d'un pont en fer d'une seule portée de 40 mètres entre culées (fig. 79). En 1868, l'Arc se gonfla subitement et emporta une partie du remblai aux abords du pont. Afin de prévenir le retour de cet accident, la Compagnie prit le parti de doubler le débouché du pont, en accolant à la première travée une seconde d'égale portée. A cet effet, on construisit une troisième culée à 40 mètres de celle des anciennes qui devait former pile. Puis la voie, à l'emplacement de la nouvelle travée fut placée sur longuerines (fig. 77 et 78), posées elles-mêmes sur traverses laissant entre elles un vide suffisant pour recevoir les pièces de la future travée. Sous les premières traverses, on avait disposé des doubles coins reposant sur un second cours de longuerines soutenues par un deuxième rang de traverses appuyées sur la couronne du remblai. Ainsi suspendue, la voie pouvait être réglée à volonté à l'aide des coins.

(1) Alric, *Portefeuille des Conducteurs des Ponts et Chaussées et des Gardes-Mines*, n° 9, 1863.

Les pièces de pont en fer réparties sous la voie se trouvaient en mesure de recevoir les semelles inférieures des poutres-latices et permettaient aussi de construire complètement le pont sur la place, exactement comme sur un

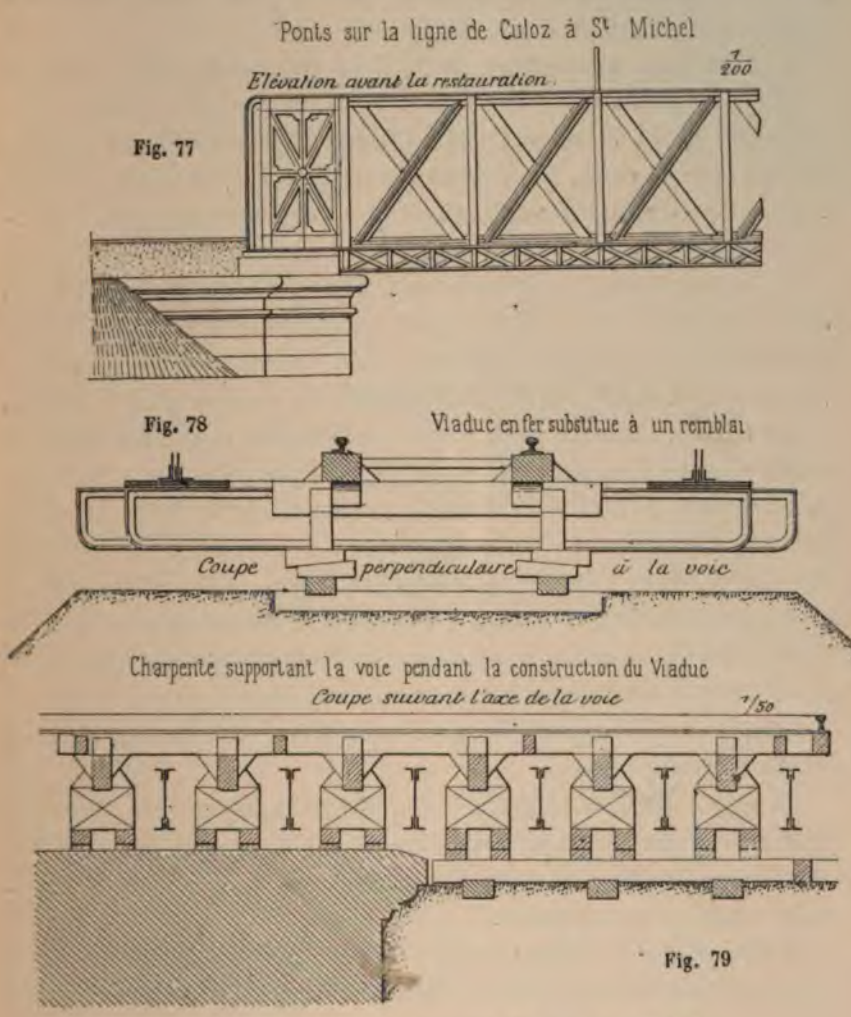


Fig. 77, 78 et 79. — Ponts sur la ligne de Culoz à Saint-Michel.

pont de service, et sans interrompre un seul instant la circulation. Dès l'achèvement de la nouvelle travée, il suffit pour mettre le pont en charge, de desserrer les coins supportant la voie, ce qui permet d'enlever le remblai entre les culées.

72. — Substitution d'un pont métallique à un pont en bois. — Un exemple remarquable de la substitution d'un pont métallique à un pont en bois sur un chemin de fer en exploitation nous est fourni par le pont d'Asnières sur lequel les lignes du chemin de fer de l'Ouest franchissent la Seine à leur départ de Paris.

L'ancien pont, construit en 1836, était composé de cinq arches de 35 mètres de portée, en bois de chêne, reposant sur cinq piles en maçonnerie, quatre sur béton, l'autre sur pilotis. Chaque arche était formée de cinq fermes en arc de cercle, les tympans composés de croix de Saint-André, les voies portant directement sur les pièces de pont ; des moises et des contre-vents reliaient les fermes entre elles.

Les ingénieurs dont les prévisions ont été parfaitement justifiées avaient donné au pont une largeur suffisante pour supporter trois voies, nombre à peine en rapport avec la circulation considérable qui s'est faite ultérieurement; ce nombre fut porté à quatre lors de la substitution du nouveau pont à l'ancien.

Les fatigues éprouvées par la première construction amenèrent bientôt le relâchement des assemblages de la charpente et par suite, l'introduction de l'eau, qui causa de nouvelles avaries. On espéra remédier à cet état de choses en interposant entre ces pièces de pont et la voie une couche de ballast destinée à annuler les trépidations causées par le passage des trains ; mais en atteignant ce résultat, on augmenta cependant la fatigue du pont, tant par la surcharge due au ballast que par l'humidité presque constante qu'il entretient. Aussi on constata que les arches se déformaient encore sous la pression des trains et que la partie des piles engagée entre les tympans devenait mobile sous cette influence.

Un remède efficace à ces graves inconvénients fut apporté en donnant une plus grande rigidité aux arches, en remplaçant une grande partie des bois avariés dans les cintres, et en interposant le fer et la fonte dans les assemblages soumis à la compression.

A la suite de cette restauration, le pont avait pris une rigidité complète ; mais on n'en décida pas moins l'enlèvement de tout le ballast pour diminuer la fatigue des bois, et on le remplaça par un système de longuerines.

Ces travaux étaient en voie d'exécution quand éclata la Révolution de février. La première arche fut brûlée et la première pile, ne faisant plus culée depuis la surcharge du ballast, fut poussée par l'arche suivante et renversée sur la charpente de la première arche ; les autres arches cédèrent successivement, et le pont tout entier s'écroula dans la rivière.

Si les travaux commencés pour la décharge du tablier avaient été achevés

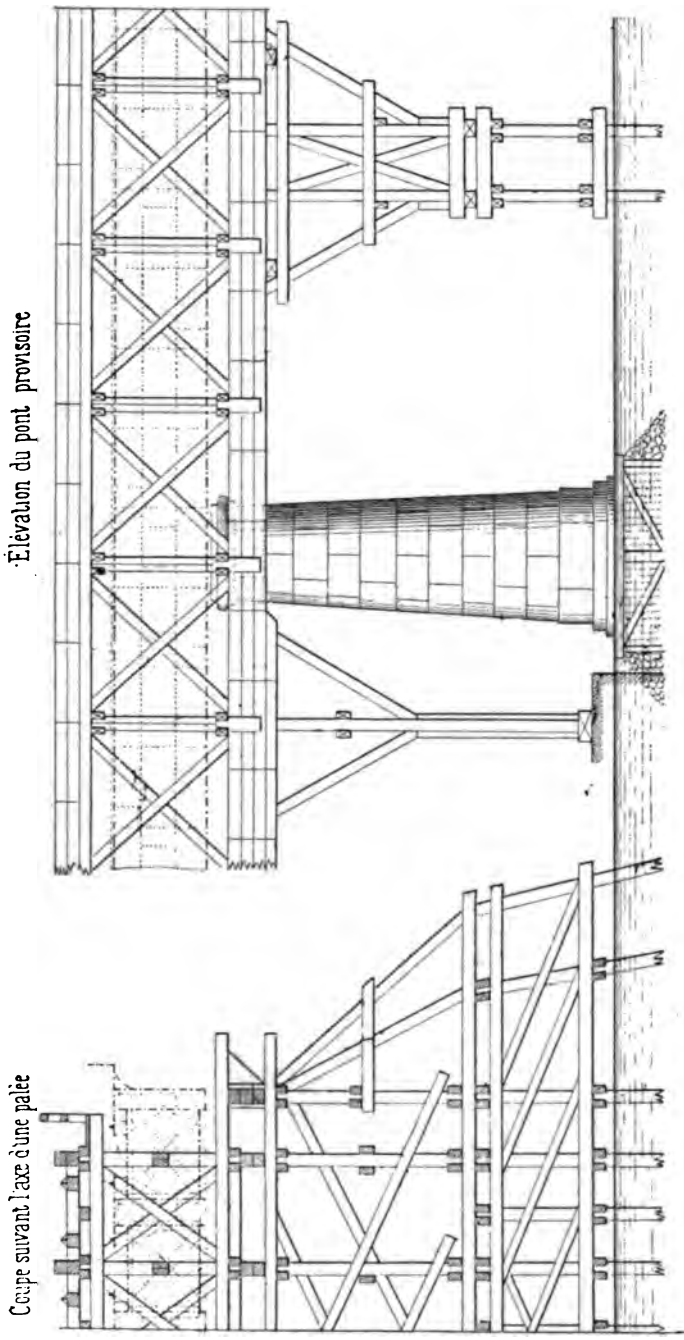


Fig. 80-81. — Pont d'Asnières.

avant la destruction de la première arche, les quatre autres se seraient maintenues en place comme cela s'est présenté au pont sur la Seine à Croissy. On voit par là qu'il faut éviter de charger de ballast les ponts en arc à plusieurs travées en fonte ou en bois.

Le rétablissement du passage se présentait dans les conditions les plus difficiles. La position du pont d'Asnières rendait impraticable l'exécution d'un pont de service en dehors de l'axe de l'ancien pont. L'encombrement de la rivière était tel, qu'on ne pouvait avoir aucune donnée certaine sur la position des points d'appui. On reconnut par des sondages, que les palées du pont de service ne pouvaient être placées à des écartements réguliers, mais que les portées varieraient d'une travée à l'autre de 12 à 20 mètres.

En résumé, le pont de service devait remplir les conditions suivantes :

Être commencé immédiatement sur le chantier ;

Être élevé dans l'axe de l'ancien pont ;

Pouvoir s'appuyer sur des palées espacées entre elles de 12, 20 et même 30 mètres

Servir à la construction d'un pont définitif en fer ou en fonte, de telle manière que la substitution de l'un à l'autre pût se faire sans interruption de service ;

Ménager sous les travées une hauteur de $8^{m},50$ au moins au-dessus de l'étiage.

Présenter une rigidité suffisante pour supporter en même temps le pont définitif en construction et le poids des convois marchant à grande vitesse.

Le pont définitif devait avoir quatre voies et être formé de poutres rectangulaires en tôle de $2^{m},30$ de hauteur; la charpente provisoire devait être combinée en conséquence et, d'ailleurs, supporter trois voies.

Le système du pont provisoire d'Asnières (fig. 80-81) participe des ponts à treillages de Tours, en ce qu'il permet, au moyen de croix de Saint-André, de placer indistinctement les points d'appuis, et du système Long par le mode de travail des bois. Les palées, reposaient, soit sur les assises inférieures non renversées des anciennes piles, soit sur pilotis plantés dans l'intervalle.

La hauteur des eaux, à l'époque du levage du pont, ne permit pas d'établir les chapeaux des basses palées à un niveau assez bas; c'est pourquoi il a été nécessaire de les contre-butter, à l'aval, par des arrières palées en pilotis inclinés, et à l'amont, en les reliant au brise-glace : tous les pieux ont, en outre, été moisés et contreventés à la baisse des eaux.

Comme nous l'avons dit plus haut, le pont définitif devait porter quatre voies, la longueur des caissons de fondations des anciennes piles permettant

de donner au pont la largeur correspondant à l'accroissement du nombre des voies. Une étude approfondie de toutes les conditions du problème fit reconnaître que la meilleure solution était l'adoption du système de ponts à poutres droites en tôle ; c'est celui qui a été appliqué ; il est indiqué par des traits ponctués dans la figure 81. Le pont se compose de cinq poutres parallèles en tôle, qui règnent dans toute la longueur et s'appuient sur les culées, distantes de $162^m,14$ et quatre piles intermédiaires. Les poutres sont reliées de 2 en 2 mètres par des pièces de pont en tôles et cornières. Sur ces dernières reposent les longuerines en bois supportant les rails. En établissant le pont provisoire on prit la précaution de relever de 1 mètre le niveau des rails, pour faciliter le montage des poutres, tout en abaissant les rails du pont définitif de $0^m,25$ au-dessous du plan des rails de l'ancien pont. Au moyen de ces dispositions, le montage du pont définitif a été effectué sans que la circulation sur les trois voies ait été entravée.

73. — Restauration de ponts en fer. — Quand on construit certains ouvrages d'art, notamment les ponts métalliques, il ne faut pas perdre de vue les changements qui peuvent survenir dans les conditions d'exploitation, et se prémunir contre l'augmentation des charges que l'accroissement du trafic peut entraîner après lui. Une omission de cette nature a obligé la Compagnie du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée à remanier les ponts métalliques de la ligne de Victor-Emmanuel, dont nous avons déjà parlé (71).

Les ponts se composent de poutres-latices auxquelles sont suspendues les pièces de pont formées elles-mêmes de poutres en treillis (fig. 77). Dès que le matériel puissant de la Méditerranée circula sur la nouvelle ligne, on s'aperçut que les pièces de pont et les maîtresses-poutres flamblaient sous les charges en mouvement. Il fallait opérer la restauration de ces ponts, et ce sans arrêter les trains, la ligne étant construite pour une voie. Pour donner de la raideur aux premières, on remplaça les treillis des pièces de pont par des tôles pleines et on se servit à cet effet d'un mode de soutènement des longuerines de la voie indiqué par la figure 82. Quatre étriers suspendus aux semelles des grandes poutres sontenaient, de chaque côté de la pièce de pont à restaurer, deux poutres transversales supportant les longuerines de la voie. On pouvait sans danger enlever les rivets des treillis, et placer les tôles de renfort.

On a suivi dans la restauration des maîtresses-poutres des différents ponts deux systèmes : Dans le premier, on s'est contenté de renforcer le latice pri-

Fig. 82

Charpente pour étaiement des pièces de pont en restauration

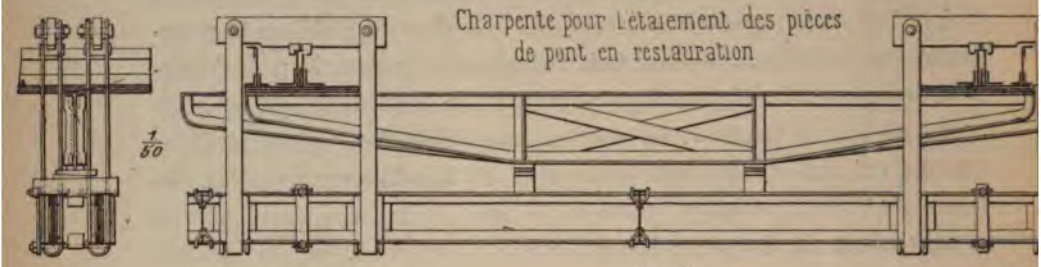


Fig. 83

Restauration — 1er Système

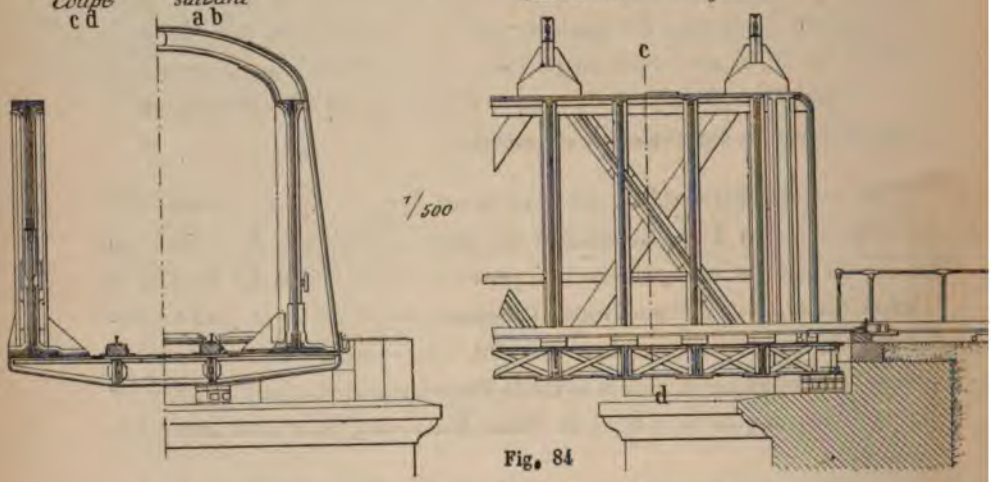


Fig. 84

Restauration — 2e Système

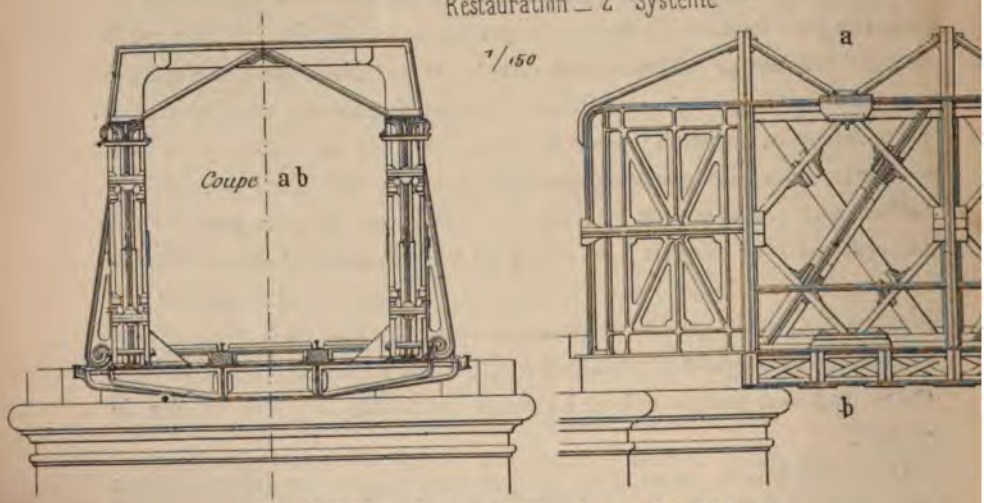


Fig. 82-83-84. — Ponts sur la ligne de Culoz à Saint-Michel.

mitif au moyen de piliers en fer à T (fig. 83). Ce système avait l'inconvénient d'affaiblir les pièces à la rencontre des barres; on y a substitué le procédé indiqué par la figure 84 qui indique un doublement du latice, à l'aide de fers à T posés de chaque côté de l'ancien.

Le contreventement primitif à la partie supérieure des poutres étant également insuffisant, on a augmenté le nombre des entretoises tout en donnant de la roideur aux anciennes.

Ces divers travaux de restauration se sont exécutés au prix de 0 fr., 50 par kilogramme compté sur les pièces de renfort seulement.

74. — Substitution d'un pont en fer à un pont en maçonnerie. — Cet exemple nous est fourni par la ligne de la Méditerranée qui traverse le canal de Beaucaire sur un pont biais, composé de six anneaux accolés en pierre de taille appareillée normalement (fig. 85). Après deux an-

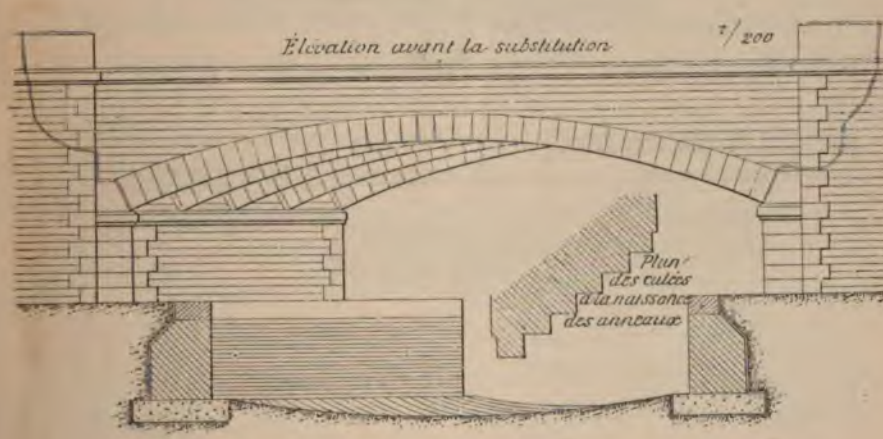


Fig. 85. — Pont en fer substitué à un pont en maçonnerie.

nées d'exploitation de la ligne, les culées du pont ont fléchi, les anneaux se sont déformés en menaçant ruine malgré de très nombreuses armatures en fer. La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée a remplacé ce pont de pierre par un pont à poutres droites en fer.

Le pont étant à deux voies, on concentre la circulation sur une seule voie. On dérase alors la surcharge de la voûte *jusqu'à l'extrados* (fig. 86-87), sur l'emplacement de la voie supprimée, en soutenant par un petit mur provisoire construit sur l'axe du chemin de fer le ballast de la voie en circulation. Nous disons jusqu'à l'extrados, car on ne peut placer la voûte sur cintre

pour ne pas interrompre la navigation. On n'aurait recours à cette opération de démolition que pendant le chomâge du canal.

Fig. 86

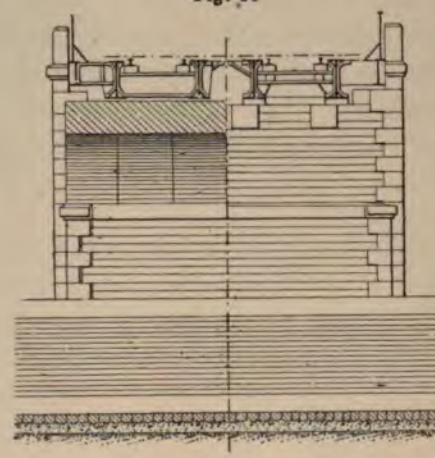


Fig. 87

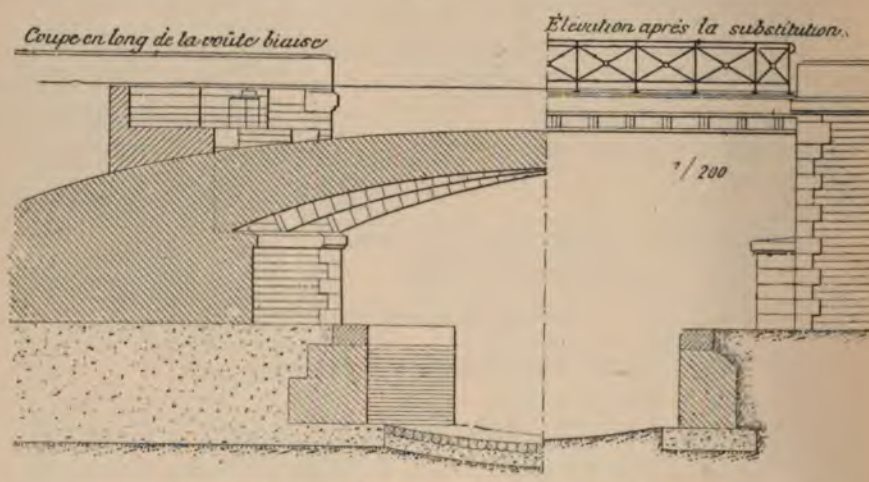


Fig. 86-87. — Pont en fer substitué à un pont en maçonnerie.

Pour soutenir les deux poutres droites destinées à porter chaque voie, on élève deux petits murs verticaux à l'aplomb des culées (fig. 87). Peut être aurait-on pu supporter les deux voies avec trois poutres longitudinales au lieu de quatre, mais on aurait rencontré au montage un peu plus de difficulté qu'avec le système de deux couples de poutres indépendantes.

75. — Roulement d'un tablier de pont. — La ligne de Berne à Lausanne franchit la vallée de la Sarine, près Fribourg, sur un viaduc d'une hauteur de 76 mètres, mesurée du niveau des rails à l'étiage de la rivière. La longueur totale du viaduc prise entre les parements extérieurs des culées est de $328^m,84$. Il repose sur six piles, distantes entre elles de $48^m,80$. Chaque pile se compose d'un corps supérieur en métal, ayant une hauteur de 44 mètres, et d'une partie basse, en maçonnerie, qui est fondée sur le terrain solide. La pile la plus élevée a une hauteur totale de 80 mètres, mesurée du niveau des rails au plan de fondation.

Le tablier métallique est formé par quatre poutres au-dessus desquelles se placent les traversines en fer qui supportent le plancher et les rails. Chaque poutre se compose d'un longeron supérieur et d'un longeron inférieur, en forme de T. Ces longerons sont tenus à distance par une série de montants, et contreventés par une paroi disposée en treillis. Au droit des montants verticaux les quatre poutres sont reliées entre elles par un système très puissant de contrevents formés au moyen d'entretoises et de croix de Saint-André. Le tablier est muni, en outre, d'un système complet de contrevents horizontaux s'étendant sur toute sa longueur.

La partie métallique des piles se compose : 1° d'un soubassement en fonte, s'étendant régulièrement sur la face supérieure, de la maçonnerie ; 2° d'un entablement, placé immédiatement sous les poutres ; 3° de douze colonnes en fonte, reliant entre elles les châssis précités ; 4° d'une série de croix et de parois en fer, servant à entretoiser les colonnes.

Levage du pont. — Pour le viaduc de Fribourg, la partie la plus difficile à la fois et la plus chanceuse de la construction était certainement le montage et la mise en place des piles et du tablier. Après une étude attentive les constructeurs se sont décidés à renoncer absolument à l'emploi d'échafaudages pour cette opération. A des hauteurs de 55 à 80 mètres, des ouvrages en bois n'offrent ni la solidité, ni la sécurité nécessaires à un travail qui porte sur des masses énormes, tout en exigeant une précision absolue.

Le tablier a donc été monté à terre pour être glissé ensuite sur rouleaux d'une rive à l'autre. Quant aux piles, leur montage s'est opéré en tirant parti du tablier lui-même pour l'approche, les manœuvres et la mise en place définitive des pièces.

Un treuil formé par trois pignons de $0^m,240$, $0^m,300$ et $0^m,360$ de diamètre, engrenant respectivement avec trois grandes roues dentées de $1^m,790$, $2^m,275$ et $2^m,760$ de diamètre, est placé dans la maçonnerie de la culée. Les axes

ayant une longueur égale à la largeur du tablier, pour éviter leur torsion, on a dû établir les roues et pignons au nombre de deux sur chaque axe, dont un de chaque côté. Le mouvement est imprimé par des hommes, dont le nombre peut aller, au besoin, jusqu'à vingt-huit. L'arbre moteur porte trois poulies à la *Barbotin*, dans lesquelles s'engagent trois chaînes qui se logent au milieu des trois vides laissés entre les quatre poutres, et se terminent chacune par une fourche qui s'amarre aux plates-bandes inférieures des poutres. Lorsque le tablier a fait environ 30 mètres les chaînes sont à bout de course; il faut alors reprendre les amarres.

Le tablier est appuyé par les plates-bandes inférieures de ses quatre poutres, sur un système de rouleaux dont le diamètre est de $0^m,80$ et qui reposent sur des paliers en fonte, à l'aide d'axes en fer de $0^m,160$ de diamètre. Ces rouleaux espacés de 15 mètres, peuvent supporter chacun une charge de 125.000 kilogrammes.

La force des poutres dans la première et la seconde travée a été calculée de façon à permettre au pont de se tenir en porte-à-faux sur une longueur égale à sa première travée, de telle sorte qu'il peut se trouver poussé dans le vide assez loin pour livrer passage, soit de la culée vers la première pile, soit d'une pile achevée vers l'emplacement de la pile suivante, non montée. Un système d'armatures en chaînes prenant son point d'action sur l'avant du pont, et ses points d'appui sur la seconde travée, est placé, en outre, pour permettre de surcharger l'avant au moment du porte-à-faux, dans une certaine mesure, sans produire d'affaissement sensible.

Ces conditions réalisées, le pont est halé de la terre ferme en avant jusqu'à ce que sa partie la plus avancée se trouve à l'aplomb de la première pile à monter. Les pièces de cette pile sont chargées alors sur un vagon établi sur les rails mêmes du tablier, à l'arrière puis dirigées vers l'avant, où elles sont saisies par un treuil à double frein, qui les descend directement à leur destination.

La première pile montée, on l'arme à son sommet d'un jeu de quatre rouleaux, lesquels se logent au lieu et place d'une partie de l'entablement. Le pont est ensuite tiré en avant d'une nouvelle travée, et le montage de la deuxième pile peut commencer.

Comme les piles métalliques sont nécessairement susceptibles d'une certaine flexion, et que le tablier, en roulant sur les poulies exerce tangentiellement à celles-ci et, par suite, normalement aux piles, une pression assez considérable, on a cru que des précautions spéciales seraient nécessaires pour assurer la parfaite verticalité de ces dernières, lors du halage. A cet effet, le

sommet de la première pile est lié à un point d'appui créé spécialement pour cela, sur l'arrière de l'avant-corps de la culée à l'aide de quatre haubans en fer, dont deux destinés à faire le travail et les deux autres à servir de chaînes de sûreté. Ces haubans, toutefois, abandonnés à eux-mêmes, auraient pris une certaine flèche et constitué ainsi une retenue élastique non rigide. Pour empêcher cet effet, on a dû les suspendre, à leur tour, par des chaînettes, dont la courbure et les tiges de suspension ont été calculées de façon à les maintenir en ligne droite inextensible. La seconde pile prend ses appuis sur la première, et ainsi de suite. La force de la chaîne des haubans, qui relie, de cette façon les sommets des piles, va en diminuant depuis la culée jusque vers la pile la plus éloignée.

Les avantages du système de levage dont on vient de mentionner les points principaux, et qui, aujourd'hui est sanctionné par l'expérience, se comprennent facilement. En dehors de la condition principale déjà citée, d'éviter tous les échafaudages et les inconvénients qu'ils auraient entraînés au point de vue du temps employé, de la sécurité et des frais d'établissement, l'opération du montage se fait avec la plus grande facilité. Les éléments arrivent des usines par les voies de fer jusqu'au chantier, et de là ils sont conduits à la place définitive, sans fausse manœuvre et à l'aide de freins seulement puisque tout doit descendre.

76. — Substitution de voûtes en maçonnerie aux ponts en bois. — L'établissement de la deuxième voie sur les chemins de fer de l'Etat en Hanovre a motivé la construction de plusieurs ponts en maçonnerie, en remplacement des anciens tabliers en bois, dont la date remontait à l'année 1846.

Nous choisissons pour exemples ceux de l'Ilmenau, du Gerdau et de l'Aller, qui ont été l'objet de communications intéressantes faites à la Société des Ingénieurs et Architectes de Hanovre.

Pont de l'Ilmenau. — Construit en 1846, ce pont situé près de Lunebourg, se composait de six travées en charpente de $16^{m},50$ d'ouverture, portées par des piles en maçonnerie (fig. 88). On n'avait établi le tablier que pour une voie mais les piles et culées étaient assez larges pour recevoir la deuxième voie ; fondées d'ailleurs sur quarante-quatre pieux ayant chacun $4^{m},75$ de fiche, elles présentaient une résistance suffisante pour supporter soit des arches en maçonnerie soit des poutres en fer. La première voie seule étant posée, on pouvait construire le pont par moitié sur toute sa longueur, sans interrompre la

circulation des trains. Il s'agissait donc de faire un choix entre des voûtes en briques ou en pierres de taille et un tablier métallique.

La comparaison des prix de revient des trois systèmes ressort du tableau suivant :

DÉSIGNATION DES PONTS	Voûtes en briques	Voûtes en pierres de taille	Tablier en fer
Ilmenau, le fer à 9 thalers le quintal (100 livr.)	47th,100	63th,150	56th,460
Gerdau, le fer compté à 8 thalers	18 , 000	»	25 , 000
Aller, le fer compté à 10 thalers 1/2.	127 , 100	»	257 , 250

En présence de ces résultats, l'hésitation n'était pas possible ; l'entretien des ponts en fer étant d'ailleurs le plus coûteux, et la construction des arches en pierre de taille exigeant l'emploi d'échafaudages et d'appareils de levage inutiles pour la maçonnerie de briques cette dernière fut adoptée.

Culées. — Les culées primitives, suffisantes pour supporter un tablier horizontal, étaient trop faibles pour résister à la poussée de voûtes en arc de cercle. Il fallut les renforcer par des contreforts construits au moyen de puits cuvelés de 8m,20 de profondeur, en arrière des culées existantes, et cela sans entraver l'exploitation (fig. 89).

A cet effet, la voie fut consolidée, pendant la construction de chaque contrefort au moyen de deux longuerines de 14 mètres de longueur et 0m,48 d'équarissage, reposant, d'une part, sur le mur de culée et, de l'autre, sur le remblai pilonné. Les traverses furent clouées sur des longuerines.

Au lieu de fonder les contreforts sur pilotis, dont l'enfoncement eût été difficile et même dangereux pour la circulation des trains, on résolut de les asseoir sur une large couche de béton reposant sur le fond de la fouille formé de gravier résistant.

L'emplacement du puits étant tracé, on enfonça à la sonnette à tiraude une première pile de palplanches de 0m,06 d'épaisseur inclinées vers le dedans. On fouilla l'enceinte, un premier cadre fut placé, puis un deuxième ; la fouille étant approfondie, on battit une nouvelle file de palplanches et ainsi de suite en ayant soin de caler fortement chaque pièce de l'ensemble pour éviter tout tassement extérieur. On dut épuiser pour déblayer les deux derniers mètres, ce qui se fit au moyen d'une pompe très simple de 0m,19 de diamètre, sup-

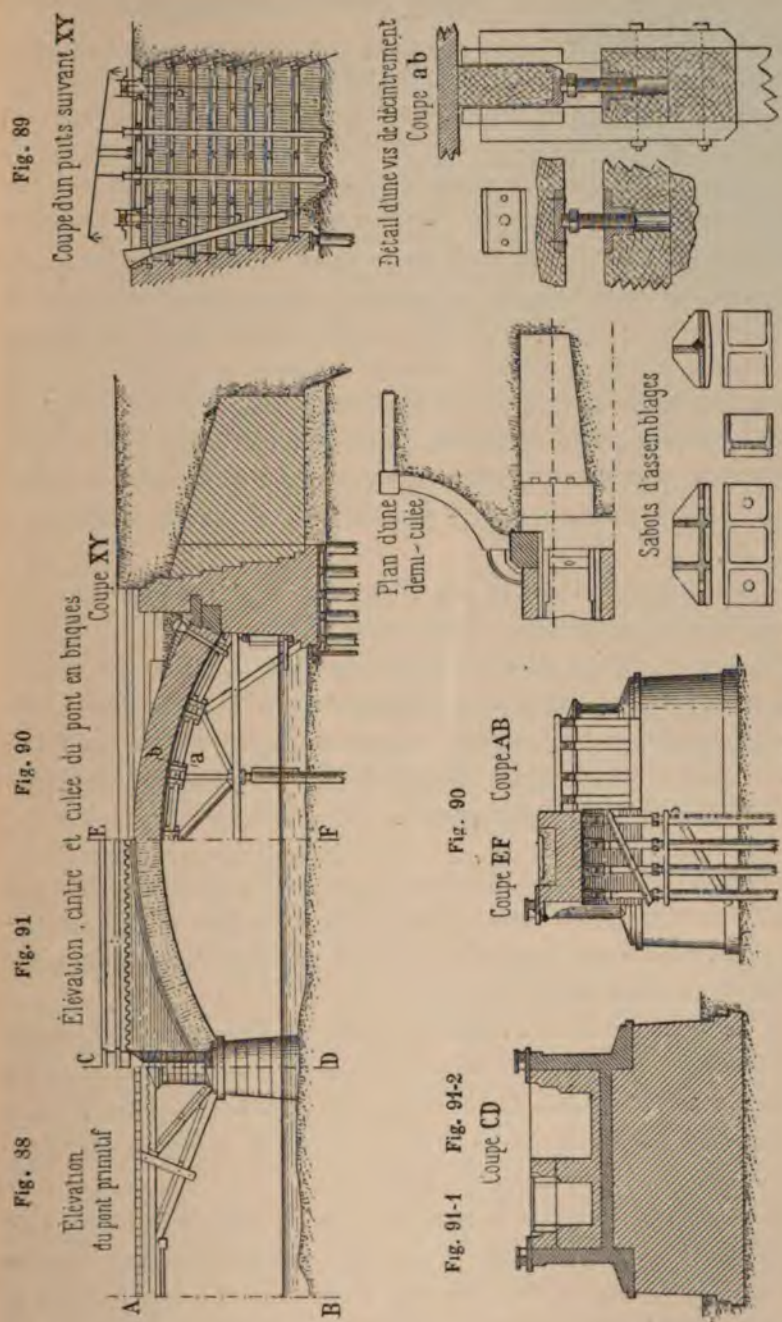


Fig. 88-89-90-91. — Pont de l'Ilmenau.

pléée au besoin par un second appareil semblable, mais qui a très rarement servi pendant le travail.

Le tuyau d'aspiration de la pompe était enveloppé de planches battues dans le sol, pour que le béton ne fut pas délayé à son arrivée au fond de la fouille. Avant de le verser on dressa verticalement la dernière assise de la maçonnerie de l'ancienne culée; puis on coula le béton au contact. Comme on craignait quelque tassement ultérieur, trois cheminées de $0^m,25$ furent ménagées entre l'ancienne et la nouvelle maçonnerie pour servir à couler du ciment en cas de fissures. Soumis immédiatement au poids de la maçonnerie du contrefort, le béton devait durcir rapidement. On le composa, pour 100 parties, de 66 parties de pierre, gravier et briques cassées et 32 parties de poudre de mortier formées elles-mêmes de 11,2 parties de ciment romain et 22,4 de sable. On mouillait seulement quand le tout était mélangé et prêt à être retourné, puis versé dans le canal en bois descendant jusqu'au fond de la fouille, le durcissement avait lieu en douze heures; passé ce délai on pouvait commencer à maçonner.

Le cadre du fond fut laissé en place, derrière la maçonnerie; mais on retira tous les autres en muraillant au contact des palplanches, dont les trois derniers rangs seulement furent enlevés. Le contrefort achevé, on le surmonta de petits murs jusqu'au niveau de la voie. Le tout fut chargé de 85.000 kilogrammes de rails, et après plusieurs semaines on ne remarqua aucune fissure; de sorte que les trois cheminées réservées devinrent inutiles. On les remplit de béton fin (ciment et briques cassées).

Cintres. — Ils se composaient, pour chaque travée, de quatre fermes en sapin devant supporter 80 mètres cubes de maçonnerie, c'est-à-dire 135.000 kilogrammes environ par travée; les pieux en portaient les deux tiers, soit 11.250 kilogrammes chacun (fig. 90).

Les bois buttaient les uns contre les autres par l'intermédiaire de sabots en fonte, dont la dépense était motivée puisqu'ils devaient être réemployés lors de la construction de la deuxième moitié du pont. Les arbalétriers courbes étaient soutenus et réglés par des vis en fer de $0^m,035$ de diamètre, tournant dans des écrous en fonte et servant à décintrer.

Les cintres posés et garnis de leurs couchis on les chargea de 52.000 kilogrammes de briques, représentant la moitié du poids de la voûte, en les maintenant pendant quelques jours sous cette pression, pour pousser à fond tous les assemblages. Le premier tassement produit, on rétablit au moyen des vis les arbalétriers courbes dans la position voulue.

La maçonnerie des voûtes fut alors attaquée, et ce en même temps des deux côtés de chaque pile, pour contrebutter les charges. Par suite de l'affaissement du cintre, les voûtes terminées présentaient, de chaque côté de la clé, trois fissures disposées comme suit : la première à $0^m,15$ ou $0^m,18$ de la retombée, s'ouvrait à l'extrados de 3, 6 et même 18 millimètres ; la seconde à 2 mètres ou $2^m,50$ de la retombée, ne dépassait pas 2 millimètres ; la troisième enfin, à $4^m,50$ ou 5 mètres, était à peine visible. Avant de décintrer, on coula du ciment dans les fissures les plus larges. L'arche du milieu fut fermée la dernière et quatre jours après, le ciment était suffisamment durci, on décintra toutes les arches à la fois.

Décintrement. — L'opération s'effectua au moyen de quatre hommes qui partant de la clé, desserraient successivement toutes les vis d'un quart de tour à la fois ; après trois tours complets, on pouvait desserrer les vis à la main (fig. 90) ; le décintrement dura de vingt à trente minutes pour chaque voûte.

Parachèvement (fig. 91, 1 et 2). — On attaqua immédiatement les tympans ; les assises du couronnement furent consolidées au moyen de prisonniers scellés au ciment dans le mur, afin de présenter une résistance suffisante, en cas de déraillement. La voûte fut recouverte d'une chape en ciment, puis d'une couche d'asphalte retournée jusqu'à l'assise de couronnement et appliquée soigneusement à l'embouchure des barbacanes en fonte.

Les ouvertures ont été masquées, par des fragments de pierres et de briques et le remblai, complété avec du sable et du gravier. Le mur du tympan intérieur fut relié au tympan extérieur au moyen de tirants en fer, en attendant l'achèvement de la seconde moitié du pont.

Construction de la deuxième moitié. — Après avoir établi la circulation des trains sur la voie unique reportée sur la moitié du pont voûté, on entreprit la construction de la deuxième moitié des arches (fig. 91-2), à laquelle on procéda comme pour la première. En maçonnant les voûtes, on prit cependant la précaution de ne placer que ce premier rang de demi-briques en contact avec la voûte terminée et de laisser un vide de 25 millimètres entre l'ancienne maçonnerie et celle en cours d'exécution, afin de préserver cette dernière des trépidations dues au passage des trains. Cet intervalle fut rempli, après l'achèvement, d'un mortier composé de 1 de chaux éteinte et 1 1/2 de sable.

L'asphaltage de la première pile ayant laissé à désirer, celui de la seconde fut exécuté en deux couches de 6 millimètres chacune, l'humidité de la face

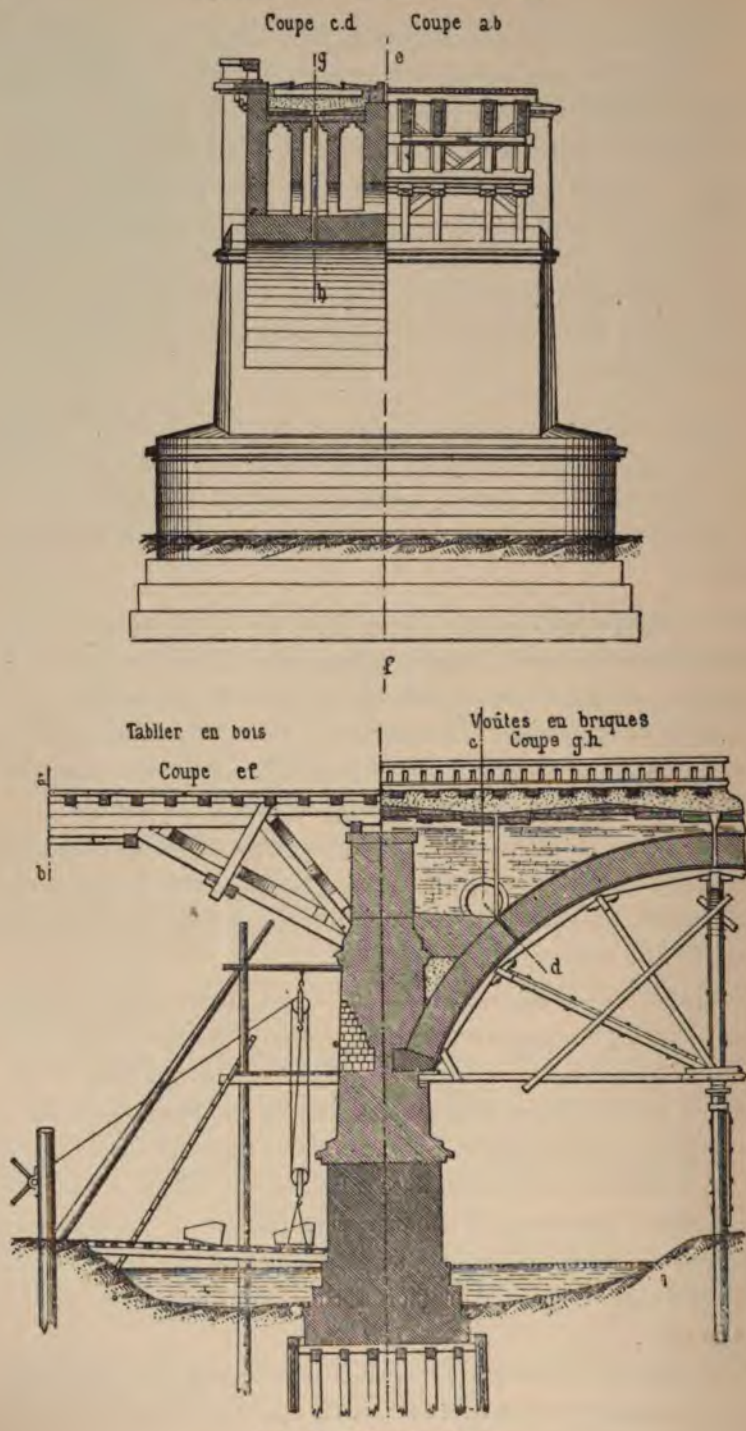


Fig. 92. — Pont du Gerdau.

de pose n'ayant plus d'effet que sur la première. Pour masquer les trous des barbacanes, et préserver l'asphalte de l'action des arêtes vives des pierres, on recouvrit chaque ouverture par une pierre de taille de $0^m,60$ de côté, reposant aux quatre angles sur des briques à plat couchées dans l'asphalte; on les garnit à leur pourtour de briques de champ, ainsi que toutes les chapes jusqu'à $4^m,50$ à partir du milieu des piles, puis on recouvrit le tout d'une couche de fragments de briques de $0^m,50$ à $0^m,60$. Le remblai de gravier terminé, on démolit le mur de tympan du milieu jusqu'à $0^m,60$ au-dessous des rails et on le couvrit d'une couche d'asphalte raccordée avec celles des parois verticales.

Le pont a été construit dans l'espace de quatre mois (d'août à novembre 1859).

Pont du Gerdau. — Cet ouvrage est situé près d'Ueltzen, sur la ligne de Lehrte à Harbourg; il franchit le Gerdau à une hauteur de $11^m,68$ sur une rampe de $\frac{1}{300}$.

Il se composait, à l'origine, de 3 travées en charpente (fig. 92) de 16 mètres d'ouverture supportant la voie unique, auxquelles on a substitué trois voûtes en arc de cercle de $15^m,18$ d'ouverture avec $5^m,84$ de flèche et $1^m,022$ d'épaisseur.

Comme la voie s'élevait à une hauteur suffisante au-dessus du plein cintre, ce qui permit d'éviter la construction des contreforts de culées, comme au pont de l'Ilmenau; mais, par contre, il fallut ménager à la voûte une nouvelle retombée que l'autre pont avait trouvé tout établie, en s'appuyant sur les assises de butée des contre-fiches du tablier en charpente.

La figure 92 donne la disposition des piles anciennes; leur base est construite en pierre de grès appareillée, jusqu'au-dessus des hautes eaux, et sur une épaisseur de $2^m,99$; au-dessus du socle s'élève la pile en briques, ayant $2^m,63$ d'épaisseur à la base et $2^m,33$ à une hauteur de $7^m,88$ hauteur à laquelle une assise de pierre de taille recevait la butée des contre-fiches du tablier en bois. A la suite de cette assise, la pile se continuait sur une épaisseur de $1^m,75$ jusqu'au niveau inférieur des longuerines du pont.

Les dispositions arrêtées consistaient à construire les voûtes sur la moitié de la largeur et toute la longueur du pont; à cet effet, il fallait loger, dans l'épaisseur des piles et culées une assise de retombée de $0^m,92$ de profondeur; de sorte qu'en ce point les piles devaient momentanément être réduites de $1^m,85$ à $0^m,93$ d'épaisseur, avec une charge de $7^m,60$ de maçonnerie et se trouver en contact avec la moitié du pont supportant la voie où circulaient les trains. On conservait enfin, au-delà des excavations dans les piles une

partie de maçonnerie qui devait rester intacte. Ces excavations se firent d'un côté seulement de chaque pile à la fois. Ce n'est que quand l'assise de retombée était maçonnée et surmontée de $1^m,50$ à 2 mètres de maçonnerie que l'on excavait l'autre face de la pile, laissant d'ailleurs les faces de l'excavation en encorbellement et sans soutien pendant la pose de l'assise de retombée.

La pose des pierres de cette assise, du poids de 1.000 kilogrammes chacune, s'effectuait d'après les dispositions indiquées dans la figure 92. Les pierres étaient posées à sec, sans mortier, puis on coulait du ciment de Portland pour les fixer.

Les cintres reposaient sur des cylindres *s, s* à sable analogues à ceux employés précédemment en France ; grâce à des mesures suffisantes prises contre l'humidité du sable, le décintrement s'est opéré avec la plus grande facilité.

Durée des travaux. — Avril 1860 : attaque de l'excavation dans les piles et culées. — 16 juillet : mise en service de la voie unique sur la première moitié du pont. — Octobre : achèvement du pont complété par la seconde voie.

Dépenses. — Les frais de reconstruction ont été établis comme suit :

Maçonnerie de briques, $929^{m3},50$ à 37^f, 75	35,089 fr.
Maçonnerie de pierre de taille, $101^{m3},50$ à 94^f, 25 . .	9,566
Cintres	7,520
Asphalte (couche de 9 m/m à $12^f,40$)	1,612
Fers et fontes	994
Frais généraux.	7,030
Matériaux divers cédés à l'exploitation, etc.	5,689
	67,500 fr.

Reconstruction d'une pile de pont. — Le pont sur lequel la ligne d'Orléans à Vierzon traverse la Loire en amont d'Orléans se compose de 15 arches de $24^m,20$ d'ouverture en anse de panier surbaissée au tiers, les piles centrales furent fondées en 1843 sur béton immergé. Un tassement de $0^m,756$ et un déversement de $0^m,20$ se produisirent à l'une des piles et des mouvements moins importants furent constatés aux autres, ils étaient dûs à la compression du sous-sol à la fois argileux et caverneux.

Après quelques essais de consolidation la Compagnie d'Orléans prit la décision de reconstruire la pile et les deux voûtes adjacentes.

Trois solutions furent examinées :

1° Maintenir la circulation des trains au moyen d'un tablier métallique

démontable, indépendant des cintres, puis démolir et reconstruire en grand la pile et les deux voûtes ;

2° Opérer de la même façon, mais en remplaçant le tablier métallique à grandes portées par une passerelle en bois s'appuyant sur les cintres par des points multiples ;

3° Démolir et reconstruire successivement la pile et les voûtes par moitié en maintenant la circulation des trains d'abord sur la seconde moitié conservée, ensuite sur la première moitié refaite.

C'est cette troisième solution qui fut adoptée.

La démolition de la demi-pile aval et des deux demi-voûtes adjacentes a été commencée le 6 septembre 1887 puis on a procédé successivement au fonçage du caisson aval à la réfection de la demi-pile aval et des deux demi-piles adjacentes, à la démolition de la demi-pile amont et des deux demi-voûtes adjacentes et au fonçage du caisson amont, enfin la réfection de la demi-pile amont et des deux demi-voûtes adjacentes a été achevée le 7 mai 1888. La dépense s'est élevée à 263.000 francs.

Ponts de l'Aller. — Ces ponts situés sur la ligne de Hanovre à Brême par Verden, comprennent un pont principal de 23 travées de 14 mètres et un pont de décharge de six travées de même ouverture. L'administration prit pour le remplacement du tablier en charpente la même décision que pour le pont de l'Ilmenau, consolidation des culées, voûtes en arc de cercle, maçonnerie de briques.

Le travail ne présente rien de particulier ; seulement, comme on voulait utiliser les cintres pour plusieurs opérations et se prémunir contre l'écroulement total du pont, si l'une des arches venait à manquer, on prit le parti de fermer la septième et la seizième travée dn grand pont, qui furent ainsi transformées en piles-culées. De plus, et pour parachever chaque voie sur les deux ponts dans la même campagne, on établit la deuxième voie depuis Verden jusqu'au chantier et on la poussa jusqu'au pont de décharge, en franchissant l'Aller sur un pont provisoire.

Commencé dans l'automne de 1860, le travail a été terminé, dans ses parties principales à l'entrée de l'hiver de 1862.

Voici la récapitulation des frais de substitution des voûtes en briques au tablier en charpente :

Terrassements (culées, piles-culées et remplissages) . .	20,887 fr.
Ouvrages de charpente, cintres, etc.	57,675
Maçonnerie.	278,325
Ouvrages en fer, fonte, etc.	10,500
Asphaltage	21,225
Appareils et outils	12,000
Pont provisoire	10,125
Voies provisoires	3,375
Exhaussement des remblais aux abords	15,412
Démolition de l'ancien pont en charpente	6,075
Direction, surveillance, frais généraux, etc.	41,025
	476,624 fr.

Cette somme se répartit, entre les divers ouvrages, comme suit :

Pont principal	342,000 fr.
Pont de décharge	109,087
Pont provisoire	10,125
Remblai aux abords	15,412
Total	476,624 fr.

77. — Reconstruction de tunnels. — Plusieurs tunnels construits à l'origine avec des dimensions exigues ont donné lieu à des travaux importants. Ceux du souterrain de *Terrenoire*, sont tout particulièrement dignes d'intérêt. Nous en reproduisons les phases principales dans les figures 93 à 96.

Le souterrain de Terrenoire était dans l'origine construit pour une seule voie. Quand on dut l'élargir pour recevoir une deuxième voie, la circulation fut reportée à l'extérieur à l'aide d'une voie provisoire établie à fleur du sol (en 1855). Malheureusement la construction du tunnel à deux voies ne fut pas l'objet de dispositions convenables. La voûte fut construite en matériaux défectueux et sur des dimensions insuffisantes. En maints endroits la poussée du terrain aurait exigé l'établissement d'un radier. L'omission de cette précaution jointe aux autres défectuosités signalées plus haut amena de graves désordres, et en 1861 la Compagnie Paris-Lyon-Méditerranée, devenue concessionnaire du chemin, dut se résoudre à reconstruire le tunnel. Les indications des figures 93 à 96, nous paraissent suffisantes pour l'intelligence de la marche du travail et nous dispensent de plus amples développements.

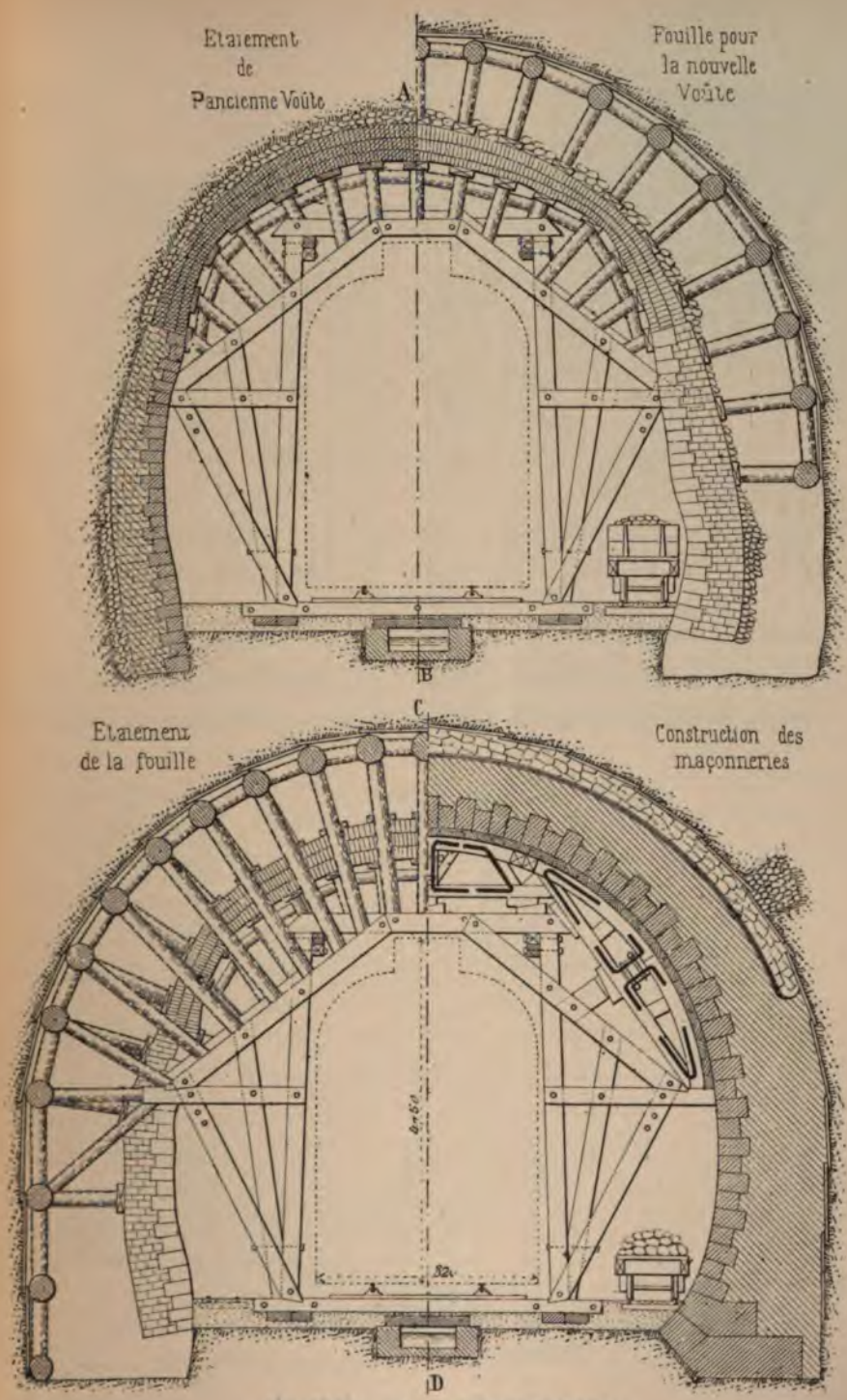


Fig. 93-94. — Reconstruction de tunnels.

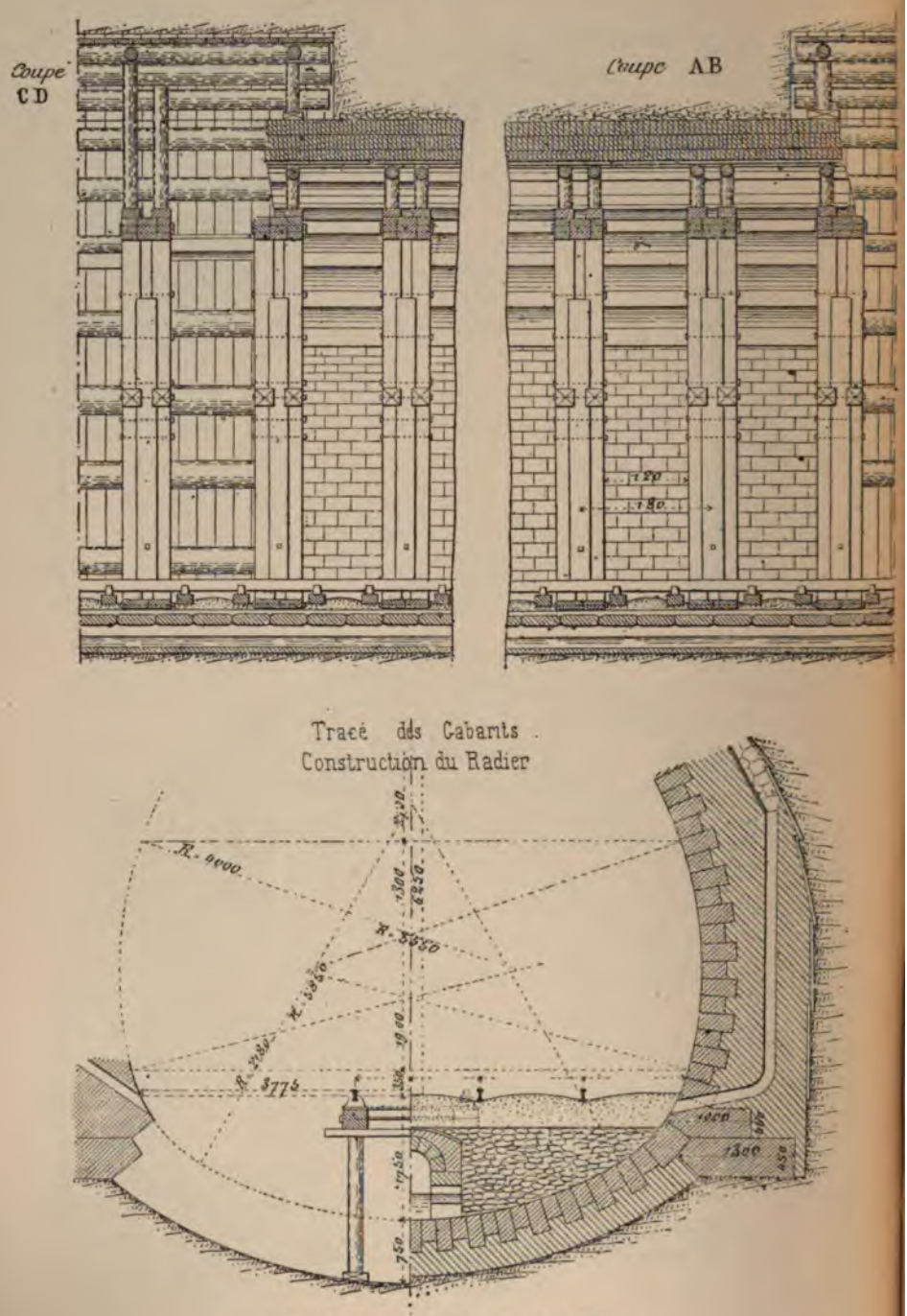


Fig. 95-96. — Reconstruction de tunnels.

§ IV.

Entretien

78. — Ouvrages en bois. — L'emploi du bois dans les ouvrages d'art ne peut être admis en général qu'à titre provisoire et comme tel, sous la condition qu'on pourra, sans difficultés, lui substituer la pierre, le fer ou la fonte ; cependant dans certains cas et particulièrement dans les pays ouverts nouvellement à l'activité humaine par des lignes à faible trafic, l'emploi du bois peut être parfaitement indiqué surtout à titre provisoire en employant des bois pouvant résister aux différents agents destructeurs.

En Europe les ouvrages en bois résistent bien lorsqu'ils sont construits dans de bonnes conditions et pour les lignes secondaires ou à faible trafic il y a lieu de les conserver aussi longtemps que la sécurité et l'économie le permettent.

Nous signalerons les jetées en bois construites à la mer depuis de nombreuses années et qui ont fort bien résisté.

L'entretien consiste à tenir constamment serrés les boulons et écrous d'assemblage, à donner aux cales, dés et fers de tirage une tension convenable. Les agents chargés de la surveillance s'assureront souvent par des sondages de l'état intérieur des pièces de charpente, l'aspect seul faisant supposer que les bois sont encore en mesure de résister aux efforts pour lesquels ils ont été calculés, tandis que l'intérieur peut avoir éprouvé des avaries telles que le bois se trouve souvent réduit à l'état d'éponge entourée d'une croûte solide. On veillera aussi avec soin à ce que les joints soient en contact parfait et le jeu des pièces réduit au minimum.

En interposant entre les faces de joint des assemblages des plaques de zinc qui s'opposent à la pénétration des bois, on augmente notablement la durée de l'ouvrage. Il faut aussi s'assurer fréquemment que les fermes qui constituent l'ensemble d'un ouvrage sont toujours dans le plan de pose primitif.

Quand les bois, dans leur ensemble, sont en bon état, on prolonge la durée de l'ouvrage en entretenant convenablement la peinture qui les protège contre les actions atmosphériques.

On donne principalement ces soins aux abouts des pièces qui se trouvent exposées aux influences extérieures, et, afin d'empêcher l'humidité d'y pénétrer, on les recouvre de plaquettes de bois, de zinc ou de couches épaisses de goudron.

Pour les ponts en bois recouverts de ballast, on donnera aux eaux de la plate-forme un écoulement constant et rapide.

Quand ils ne sont point ballastés, les ponts en bois courent le danger d'être incendiés au passage de chaque train. On doit pour cette raison, les faire surveiller d'une manière toute spéciale. Nous avons cité précédemment divers exemples de ponts brûlés pendant l'exploitation et nécessitant l'organisation de passages d'eau provisoires (47).

Lors des grandes crues, des débâcles, on établit en surveillance permanente auprès des ponts des gardes chargés de donner immédiatement connaissance de tous les incidents, de débarrasser les palées des encombrements de glace ou autres objets qui pourraient entraver l'écoulement des eaux.

79. — Ouvrages en fer. — Les ponts métalliques exigent une surveillance active. C'est surtout par les temps froids, pendant ou après des gelées persistantes, que les parties les plus faibles se rompent ou se détériorent. On redoublera donc, à cette époque de l'année, de soin dans la visite des assemblages, des rivets, boulons, tirants, etc.

On observera très attentivement, et en toute saison, les effets de la contraction et de la dilatation des poutres; on facilitera le glissement des pièces sur les appuis en lubrifiant les surfaces en contact, en dégageant tout ce qui pourrait nuire au libre mouvement des pièces soumises aux variations de température.

On vérifiera fréquemment tous les assemblages en les frappant légèrement avec un marteau; quand le son n'est pas clair, c'est une preuve que les joints ne sont pas en bon état, et qu'il y a lieu de les resserrer. En effet, les assemblages devant être étudiés pour que les rivets ne travaillent pas au cisaillement, et déterminent, entre les parties assemblées, une adhérence parfaite produite par le serrage des têtes. Si ces rivets ne travaillaient plus dans ce ce sens, c'est-à-dire étaient soumis au cisaillement, par suite de leur allongement, les conditions de résistance seraient modifiées au détriment de la solidité de l'ouvrage; aussi faut-il remplacer, sans retard, les rivets dont le serrage n'est pas complet, et ceux dont la tête présente des fentes, criques ou éclats.

Si, en remplaçant un rivet, on remarque une excentricité dans les trous des diverses pièces assemblées, il faut la faire disparaître à l'équarrissoir, de manière que le nouveau rivet conserve une section uniforme et cylindrique dans toute sa longueur. Les rivets doivent être posés au rouge blanc, et les rivures faites à la bouterolle, avec le marteau à devant, du poids de 9 kilogrammes au moins.

On devra en outre, à époques régulières, vérifier les flèches permanentes des ouvrages de plus de 10 mètres d'ouverture. En France, l'administration exige des compagnies de chemins de fer que cette vérification soit faite au moins tous les cinq ans, en présence de l'ingénieur du contrôle ou d'un agent délégué par lui.

Les fers et fontes doivent recevoir au moins deux couches de peinture à l'huile, du ton que l'on veut donner à l'ouvrage. En général, on préfère la couleur blanche, car les fissures et autres avaries, survenues à la partie métallique du pont, se traduisent rapidement par une ligne ou surface de couleur très tranchante sur le ton général.

On se contente généralement d'une couche d'impression au minium et d'une seconde couche à la céruse. Cette peinture peut servir au minimum cinq à six ans, douze ans au maximum, et seulement pour les parties non exposées au soleil.

Bien des substances ont été préconisées : couleur à base de plomb, de zinc, de fer. En Allemagne, plusieurs chemins se servent avec succès d'une couleur de diamant, composée de graphite broyé avec une huile rendue siccative par un procédé secret.

Les grands ponts de Dischau et de Marienburg, sur l'Est prussien, sont repeints tous les trois ans : les parties exposées au soleil à la céruse, celles à l'ombre au minium. Avant de coucher la couleur, on a soin de bien nettoyer les parties à peindre. Les frais de renouvellement de la peinture, non compris la couleur, reviennent à 0 fr. 35 par mètre carré (1).

En Hanovre, on couvre le fer de trois couches à la céruse ; la dernière est mêlée de sable fin, qui doit s'opposer à l'action destructive du soleil.

On a essayé de décaper d'abord le fer, puis de le recouvrir d'un vernis à l'huile de lin, afin de le préserver de l'oxydation avant l'application de la couleur. On a soin de mater les couvre-joints et les cornières, afin d'empêcher l'humidité de pénétrer entre les pièces de fer superposées.

Le chemin de l'Ouest saxon recommande, comme ayant une durée de dix à douze ans, une seule couche de goudron de houille, bien purgé d'eau, délayé dans l'huile de térébenthine et posé à chaud. Le mètre carré, tout compris, ne coûte que 0 fr. 10.

80.—Ouvrages en maçonnerie.— L'entretien des ouvrages d'art, en général, doit avoir pour but de conserver les formes primitives et les matériaux employés à leur construction, s'ils remplissent les conditions requises.

(1) Referate über die Beantwortung, etc., etc.

Il faut donc remplacer, en temps opportun, les parties avariées ou présentant des dangers pour la sécurité de l'ouvrage. On évite de grandes réparations quand on a soin de refaire les joints et les enduits qui sont tombés sous les diverses causes de destruction auxquelles ils sont soumis.

On surveille très attentivement les abords des ouvrages, et on prend toutes les mesures nécessaires afin d'assurer aux eaux de la plate-forme ou du sol les moyens d'écoulement suffisants, et d'éviter par là qu'il ne se produise des affouillements ou des ramolissements de terrain, qui peuvent occasionner des glissements ou des tassements sérieux.

Après les grandes pluies, les hautes eaux et les débâcles, les ponts et tous les ouvrages d'art, en contact avec les eaux, doivent être inspectés scrupuleusement dans tous leurs détails, particulièrement les barbacanes, les chapes, piles, culées, radiers, enrochements, etc. (1).

Tout dommage qui serait constaté doit faire l'objet d'un rapport immédiat, afin que l'ingénieur chargé du service des travaux puisse aviser aux moyens propres à arrêter le mal et à réparer les avaries en temps convenable.

Les ouvrages en rivières, dont le sol est affouillable, exigent une surveillance active. Les enrochements, disposés au pied des piles et culées, seront fréquemment examinés, sondés et nourris pour maintenir leur forme suivant le profil adopté.

Quand les fondations sont corrodées et demandent une réparation, il faut les reprendre en sous-œuvre, de manière à ne pas compromettre la solidité de l'ouvrage. L'opération s'effectue généralement par fractions de mur de 1 mètre à $1^{m},50$, en ayant soin d'employer à la réparation des pierres ou briques d'une résistance convenable, des mortiers faisant rapidement prise, et en enfonçant de force les pierres de la dernière assise réparée pour éviter tout tassement dangereux.

Lors de l'exécution de ces travaux, on consultera avec fruit les plans et carnets d'attachements qui ont été tenus pendant la construction primitive de l'ouvrage à réparer.

(1) Nous avons déjà cité un exemple de pont emporté par un torrent. Nous pouvons encore indiquer, dans un autre ordre d'idées, le pont de 150 mètres à Kovrow, sur le Kliasma, chemin de Moscou à Nijni, renversé en 1866 par défaut d'enrochement au pied de la culée de gauche. A la suite de crues, des affouillements se produisirent, et la culée, en se renversant, occasionna la chute de la première pile. On dut intaller un pont de bateaux avec pente et rampe d'accès pour rétablir la circulation.

81. — Entretien des tunnels. — Considérés comme des ponts en-dessus des rails, d'une longueur beaucoup plus grande que les ouvrages qui portent ce nom, les tunnels paraîtraient ne pas occasionner d'autres travaux d'entretien que ceux appliqués aux ouvrages courants de la ligne.

Cependant, quelques indications spéciales nous paraissent devoir être données en raison de l'importance considérable qui s'attache à la conservation de ces ouvrages, et des conditions de leur établissement.

Presque toujours construits dans une dépression des terrains qu'ils traversent, les tunnels sont exposés fréquemment à l'envahissement des eaux de source, qui trouvent là un écoulement facile. Or, le passage prolongé des eaux sur les maçonneries peut en détruire la liaison, et compromettre la solidité des voûtes ou des pieds-droits. Il faut donc rechercher à la surface les points où les eaux s'infiltrent et descendent dans le souterrain, et leur donner une autre direction.

Nous avons vu, en Portugal, un tunnel fournir assez d'eau pour l'alimentation d'un dépôt de machines, ainsi que de fontaines publiques (1).

Pendant la construction, l'ingénieur doit également étudier la constitution géologique du terrain à traverser, car il est des cas où des actions chimiques imprévues peuvent se produire. Un exemple curieux d'un fait de ce genre a été fourni par le tunnel de Gènevreuille, près de Lure, sur la ligne de Paris à Mulhouse. Ce souterrain est percé dans l'anhydrite (sulfate de chaux anhydre); les eaux, ayant envahi cette roche, y furent absorbées et la firent gonfler, à un point tel, qu'il y eût obstruction du tunnel. On modifia cette situation en perçant dans le sol du souterrain une galerie qui permit aux eaux de s'écouler librement.

Le sol des tunnels, en général, est très inégalement dressé ; aussi en résulte-t-il des accumulations d'eau et de boue qui gèlent en hiver, ou rendent la voie instable pendant les autres saisons. Le service d'entretien doit redoubler d'efforts pour faire écouler les eaux, soit en perçant des ouvertures dans les murettes étanches qui bordent la voie, soit en établissant dans l'axe du chemin une rigole d'assèchement.

L'humidité, dans les tunnels, qui provient des infiltrations des eaux du sol et de la condensation de la vapeur à la sortie des cylindres de la locomotive, est une des causes les plus fréquentes des difficultés que rencontrent le service d'entretien de la voie et celui de la traction.

L'humidité du sol, la condensation de la vapeur et de la fumée, combinées

(1) Figueira da Foz.

avec la mauvaise qualité du ballast, rendent la surface des rails grasse, glissante, et en facilitent l'altération par l'action des roues, à tel point que, dans le souterrain d'Arschwiller, la hauteur des rails, en 1856, était diminuée de $0^m,006$, après cinq années d'exploitation, ce qui n'était pas une des moindres causes de la fréquente rupture des rails.

Pour parer à cet inconvénient, la Compagnie du Central suisse a donné aux rails posés dans le tunnel de Hauenstein, une hauteur excédant, de $0^m,006$, celle des rails de la voie courante.

Quand les tunnels ont été construits, avec un écoulement d'eau insuffisant, il faut, par tous les moyens possibles, y remédier, notamment en creusant des rigoles latérales ou une rigole médiane. Le creusement des rigoles latérales est un travail ordinaire qu'il est facile d'exécuter dans tous les cas.

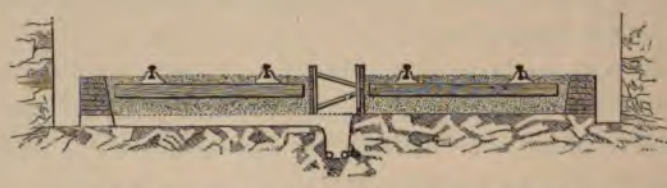


Fig. 97.— Creusement d'une rigole dans un tunnel 1/100.

Quant à la rigole médiane, elle présente plus de difficultés (fig. 97). Elle peut être calculée comme suit, d'après un projet établi par M. Duchamp, pour le tunnel d'Arschwiller.

Fouille de ballast à deux jets de pelle, mise en dépôt sur les anciennes rigoles, 744^{m3} à $0^f,80$	$595^{fr},20$
Main-d'œuvre et fournitures pour blindage latéral de la tranchée, fournitures de 50 planches à $0^f,60$	30,00
Etrésillons en chêne, 50 à $0^f,10$	5,00
Coltinage des matériaux, 3100^m à $0^f,05$	155,00
Creusement de la rigole à la tranche, fourniture d'huile, outils temps perdu, 744^{m3} à $30^f,00$	22,320,00
Enlèvement de la moitié des déblais et transport à 1500 mètres, 372^{m3} à $1^f,00$	372,00
Établissement de deux drains, 3100^m à $0^f,30$	930,00
Remblai de la rigole en pierres cassées à l'anneaux de $0^m,05$, 700^{m3} à $3^f,50$	2450,00
Règlement du ballast, 744^m à $0^f,15$	111,60
Creusement des rigoles transversales, établies de 40 en 40 mètres, à $2^f,50$ le mètre, 468^m à $2^f,50$	1170,00
Remplacement partiel du ballast en pierres cassées par du gravier du Rhin, 200^{m3} à 5 fr.	1000,00
Dépenses imprévues	1861,20
Total	$31\,000^f,00$

soit, pour 3.100 mètres de tunnel, une dépense de 10 francs par mètre courant.

Pendant les gelées il se forme souvent des glaçons qui descendent des voûtes ou s'étendent sur le ballast et au contact des rails. Quand on ne peut pas détourner les eaux qui produisent cette glace, il est nécessaire de la briser au fur et à mesure de sa formation, car, à l'état de stalactites, elle peut occasionner des avaries à la machine ou des blessures au personnel des trains; si au contraire, elle s'étend sur la voie, elle peut également produire des détériorations aux véhicules, et souvent même des déraillements. *Surveillance, accidents* : Chapitre XII.

Certains tunnels très secs présentent par contre, un autre inconvénient, celui de hâter la destruction des traverses en bois par l'effet de la pourriture sèche ; il y aurait lieu, dans ce cas, de poser les rails sur des traverses métalliques.

Réparation de tunnels. — Le souterrain d'Armentières, situé sur la ligne de Paris à Strasbourg, a une ouverture de $15^{m},66$ sur une longueur de $644^{m},50$ entre les deux têtes (fig. 98-99).

Il traverse un mamelon de roche calcaire très tendre et aquifère, appartenant au terrain tertiaire, qui renferme, comme on le sait, des bancs de meulières, des sables et des marnes.

Le souterrain passe au-dessus d'une ancienne carrière d'où l'on a extrait de la pierre, en très beaux échantillons, mais tendre, spongieuse, absorbant l'eau, et par suite essentiellement gélive. On tira de cette carrière les pierres employées à la construction du tunnel, puis on établit dans les vides laissés par l'exploitation de forts piliers en maçonnerie assis sur le terrain solide et soutenant le plafond au-dessus duquel passait le souterrain.

Les pierres ayant été employées immédiatement après leur extraction sans avoir perdu leur humidité par une longue exposition à l'air ne tardèrent pas à se déliter; au moment de la mise en exploitation, on constata l'existence d'avaries à la voûte et aux pieds-droits. Des travaux de réparation aux parements de la maçonnerie étant reconnus nécessaires, ces travaux furent exécutés en 1853, par un entrepreneur, pour le compte de l'État, qui avait construit la ligne.

Les réparations prescrites consistaient en un rocaillage de meulière, au ciment de Vassy, et en un enduit de même matière sur une épaisseur de $0^{m},07$ en moyenne, et de $0^{m},03$ au minimum.

Dans la première année qui suivit la réparation, c'est-à-dire en 1854,

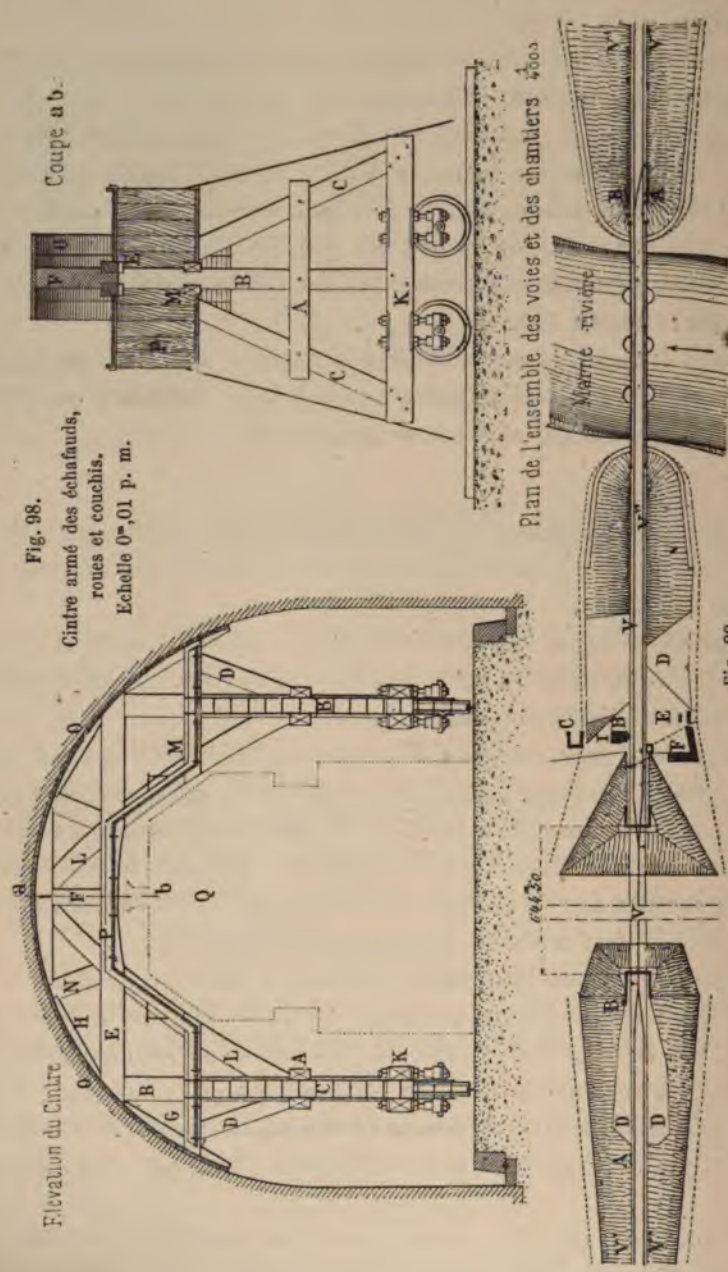


Fig. 98.
Cintre armé des échafauds, roues et couchis.
Echelle 0m,01 p. m.

Fig. 99.

Fig. 98-99. — Souterrain d'Armentières.

l'hiver fut peu rigoureux et le revêtement parut devoir se comporter d'une manière satisfaisante ; mais dans l'hiver prolongé de 1855, des dégradations se manifestèrent avec un tel degré d'intensité que de nouvelles réparations furent jugées indispensables. Ces dégradations affectèrent toutes les parties humides du souterrain, et notamment celle qui avait été réparée en 1853. On reconnut à l'examen de cette dernière partie, qu'il n'avait été pris que des dispositions insuffisantes pour assurer à l'extérieur l'écoulement des eaux d'infiltration. Le revêtement au ciment était d'une épaisseur trop faible pour empêcher la gelée d'exercer son action dans l'intérieur de la maçonnerie, aussi les moellons calcaires en se désagrégeant firent-ils tomber les enduits.

Le peu de succès de la première restauration dut faire abandonner le système que l'on avait suivi ; on lui en substitua un autre, consistant en un revêtement de maçonnerie de briques reliées par du mortier de chaux hydraulique, avec addition de un quart de ciment de Vassy ; en même temps une série de barbacanes devait être disposée dans l'épaisseur des murs.

Le travail fut commencé le 20 août 1855 par l'établissement dans l'axe de la plate-forme du tunnel, d'une voie unique reliée en dehors aux voies paire et impaire, et d'une voie de garage pour le service du chantier de réparation.

Un ordre de service spécial réglait la marche des trains pour la traversée du tunnel à voie unique.

Les travaux proprement dits de la reprise du parement suivirent ces premières dispositions et furent menés jour et nuit sans interruption, jusqu'à leur achèvement.

On enleva d'abord, à l'aide de pics, marteaux et pinces sur une épaisseur moyenne de $0^m,327$, par chambre de 3 mètres de longueur, le parement dégradé des pieds-droits, en ménageant entre les chambres des piliers-réserves de 1 mètre, destinés à soutenir le parement de la voûte. On établit ensuite, dans chaque chambre, sans aucun échafaudage, la maçonnerie de briques formant les pieds-droits. Les chambres, une fois maçonnées et calées par de petits potelets de briques à la naissance, on enleva les piliers-réserves qui les séparaient et on raccorda les nouvelles maçonneries avec les reprises précédentes.

Les barbacanes furent ménagées dans les pieds-droits suivant les directions des infiltrations, leur distance variant selon l'importance des eaux affluentes mais ne dépassant pas 3 mètres.

La majeure partie des pieds-droits du tunnel étant appuyée sur un banc de grès siliceux, avait reçu un simple revêtement de moellons faisant parement de $0^m,25$ à $0^m,40$ que l'on dut enlever entièrement à la pince, et comme il n'était pas possible de conserver la queue des moellons de parement qui sou-

vent faisaient parpaings, on fut obligé de donner au revêtement en briques des pieds-droits une épaisseur plus forte que celle prévue.

Le briquetage des pieds-droits entièrement achevé, on attaqua, au moyen de petits échafauds volants, et par chambre de 2 mètres de longueur, la retombée du berceau, depuis les naissances jusqu'à la hauteur de 30° où commençait le travail des cintres. Pour cette dernière opération, on employa des cintres roulants disposés ainsi que le montre la figure 98, et composés comme suit :

BOIS BRUT POUR UN CINTRE			Longueur	Equarrissage		Cube de bois
Sapin	4 moises	A	2,55	0,12	0,25	0,306
	2 poteaux	B	4,00	0,25	0,30	0,600
	4 contre-fiches	C	4,00	0,25	0,30	1,200
	2 contre-fiches	D	1,40	0,18	0,18	0,691
	2 moises	E	5,30	0,12	0,30	0,382
	1 poteau	F	0,90	0,15	0,15	0,020
	2 veaux	G	1,60	0,20	0,25	0,310
	2 veaux	H	1,50	0,20	0,25	0,125
	1 veau	I	2,00	0,25	0,25	
						3,034
Chêne refait	4 moises	K	3,80	0,20	0,35	1,064
Chêne brut	2 contre-fiches cintrées	L	3,80	0,18	0,40	0,547
	4 moises	M	1,80	0,10	0,20	0,144
	2 pots	N	0,80	0,18	0,20	0,058
						0,749

Ces cintres supportaient les couches O, ainsi que le plancher P, destiné à empêcher les matériaux de tomber sur la voie ou sur les trains en passage.

Le système d'échafaudage sous lequel le gabarit de chargement Q pouvait librement circuler était monté sur quatre petites roues en fonte et deux rails écartés de 5 mètres; ce qui en facilitait le transport dans toute la longueur du tunnel.

Chaque cintre étant disposé pour recevoir quatre ouvriers, le berceau fut attaqué par vingt ouvriers seulement, tant maçons que piqueurs de voûte. Plus tard, on porta le nombre des cintres de cinq à neuf, et, par conséquent, à trente-six hommes la main-d'œuvre employée. Toute la voûte fut piquée, maçonnée et raccordée par nervures de 1 mètre de longueur. Pendant l'hiver on ferma la tête d'amont (Nord-Est) par un rideau, ouvert seulement pour le passage des trains.

La maçonnerie de parement terminée, on procéda sur tous les cintres au rejointement de toute la reprise, en ciment de Vassy.

Dans le courant de mars 1856 les deux voies furent remises en exploitation et le travail entièrement terminé après une durée de cent quarante-sept jours. Les chantiers étaient disposés comme le montre la figure 99.

Légende explicative du plan.

A. Manœuvre des disques;

B. Guérite des employés;

C. Entrée de la carrière;

D. Dépôt des décombres;

E. Chantier, dépôt de sable et de briques, bassins à chaux, broyeur;

F. Ateliers comprenant : bureau, forge, magasin, lampisterie, dépôt de chaux et ciment;

I. Charronnerie;

V. Voie paire;

V'. Voie impaire;

V''. Voie de garage } pendant les travaux.
v. Voie unique }

Comme dans tous les cas analogues, ces travaux de reprise ont un peu dépassé, en surface, les prévisions du projet. Ils ont porté sur 4783 mètres carrés 69, soit :

1434$^{m^2}$,61 pour les pieddroits.
835 , 59 pour les reins de la voûte,
2513 , 49 pour le berceau.

Voici comment se résument les frais de cette restauration :

Matériel, outillage, installations, etc.	26468^f,09	
A déduire, valeur des vieux matériaux . . .	13693,56	12774^f,53
Matériaux de construction	55039,52	
A déduire pour rentrées en magasin	7524,00	47515,52
Outils et dépenses diverses	6124,91	
A déduire valeur des vieux matériaux. . . .	119,55	6005,36
Main-d'œuvre. Nombre de journées 36806,40, soit.	125527,22	
A déduire pour autres destinations	7445,56	118081,66
Dépenses totales		184377^f,07

M. Martin, Ingénieur principal aux chemins de fer de l'Est, a dirigé cette réparation.

CHAPITRE IV

CULTURES, DÉFENSES DU CHEMIN

§ I

Semis, Gazonnements, Plantations.

Les talus des remblais, tranchées, dépôts et prélèvements sont préservés de de l'action des phénomènes météoriques par l'un ou plusieurs des modes suivants de consolidation appropriés à la nature du sol : revêtements, semis, gazonnements, plantations et maçonnerie.

Nous avons examiné dans le chapitre premier les diverses applications que l'on peut faire de cette dernière espèce de construction, il nous reste à étudier les autres modes de consolidation que nous venons d'énumérer.

82. — Semis pour herbages. — La terre végétale, pilonnée sur 15 à 20 centimètres d'épaisseur et ensemencée, fournit le meilleur et le plus économique des revêtements de talus.

La quantité de graines à semer doit être suffisante pour produire une végétation vigoureuse et abondante.

Le terrain préalablement ameubli à la pioche ou à la houe, sera tassé après les semis, de manière que la semence soit recouverte au rateau ou à la herse d'une couche mince de terre ; si la terre est légère, on la roule.

En arrosant les semis à 15 jours de distance, on favorise grandement leur venue.

Les graines employées le plus souvent pour les talus sont les graminées, le sainfoin, le trèfle, la luzerne ; cette dernière plante, ainsi que le chiendent, demande un terrain profond et de bonne qualité, car ses racines pénètrent profondément dans le sol ; aussi donne-t-elle aux talus une plus grande solidité que les autres plantes. Le trèfle, au contraire, croît indistinctement dans tous les terrains, mais de préférence dans les sols meubles et frais.

Ces diverses graines s'emploient, soit isolément, soit mélangées entre elles, dans des proportions que l'expérience seule peut indiquer.

Lorsque les talus manquent de consistance et que ces graines ne peuvent pas prospérer, on emploie quelquefois le chiendent qui pousse ses racines à $0^m,70$ et 1 mètre de profondeur, dans tout terrain et à toute exposition.

D'après M. Vilmorin, on peut employer les quantités suivantes pour ensemencer 1 hectare de terrain. Ces quantités sont simplement approximatives, car elles dépendent de la qualité et de la provenance des graines, de la nature et de l'état du sol à ensemencer.

Luzerne. 20 kilogrammes ; semis au printemps ;
Trèfle, 15 — — —
Ray-grass ou ivraie vivace, 30 à 50 kilogrammes ; semis au printemps ou à l'automne ;
Ray-grass multiflore, 30 kilogrammes, selon M. Rieffel, pour terre de bruyère humide où le trèfle et autres fourrages ne réussissent pas ; semis en septembre ou en octobre ;
Fétuque, de 25 à 50 kilogrammes, selon l'espèce ; semis en automne ;
Brôme de prés, 45 kilogrammes pour terrains secs, calcaires, arides.

Le prix de revient de dressement de talus et ensemencement exécutés par entreprise peut s'établir comme suit, pour l'Est de la France :

Dressement de 100 mètres carrés ; une journée de taluteur.	4f,00	4f,60
Faux frais et bénéfices, 15 %	0,60	
Ensemencement, achat de graines	0,50	2,88
Main-d'œuvre, 1/2 journée de jardinier	2,00	
Faux frais et bénéfices	0,38	
Total		7,48

Soit par mètre carré 0f,075.

83. — Gazonnements. — Les gazons employés aux talutages ont la forme de prismes rectangulaires de $0^m,25$ sur $0^m,30$ de base et $0^m,06$ à $0^m,10$ d'épaisseur, on choisit ceux dont les brins sont fins, bien fournis et fauchés court. Il faut les employer peu de temps après leur enlèvement.

Les gazonnements de talus courants se placent ordinairement à plat par rangées horizontales et à joints recoupés, l'herbe en dehors. Il est bon de les cheviller solidement pour éviter leur déplacement ; à cet effet, on peut employer deux broches de chêne ou de charme fichées en diagonales de $0^m,50$ de longueur (chemin de fer du Midi), ou trois piquets en bois blanc de $0^m,30$ de longueur sur 3 à 5 centimètres de diamètre (chemin de fer de Strasbourg).

Il faut arroser les gazonnements au fur et à mesure de leur exécution et de temps à autre après leur achèvement jusqu'à reprise complète.

S'il s'agit de consolider les quarts de cône au contact des ouvrages d'art, ou de préserver les talus de l'effet des inondations, les gazons sont disposés par assises normales au talus et par rangées horizontales.

Ces assises doivent être très bien réglées, à joints croisés, damées et arrosées; les prismes se placent l'herbe en-dessous, à l'exception de l'assise de couronnement, où l'herbe est laissée à l'air. On fixe les gazons de quatre en quatre dans chaque assise par des piquets de $0^m,35$ à $0^m,40$ de longueur sur 8 centimètres de diamètre.

Les surfaces gazonnées, planes ou courbes, doivent conserver rigoureusement la forme géométrique indiquée par les plans et profils; on a soin de les battre au fur et à mesure de l'avancement du travail, jusqu'à ce qu'elles ne présentent plus de jarret.

Les prix du mètre carré de gazonnement sur la ligne de Wissembourg s'établissaient de la manière suivante :

Gazonnement à plat. — Enlèvement de gazon, surface retaillée, $0^h,50$ de gazonneur à $0^f,20$		$0^f,10$
Charge de 1^{m3}, $1^h.30$ à 0,16	0,21	0,40
Transport à 60^m $\left(x = \frac{2pD}{100}\right)$	0,19	
Charge en brouette (1^{m3} par 10 mètres carrés)		0,04
Pose du gazon, dressement des lits et joints, $0^h,50$ à $0^f,20$		0,10
Fourniture de chevilles		0,10
		0,34
Faux frais et bénéfices		0,05
		$0^f,39$
Dans le cas d'indemnité au propriétaire de la surface d'où le gazon est enlevé, à ajouter		0,16
Prix du mètre carré		$0^f,55$

Gazonnement par assises. — Enlèvement de 3 mètres carrés de gazons, taille des lits et joints	$0^f,30$
Charge et transport en brouette	0,12
Pose des gazons par assises en recouvrant aux $\frac{2}{3}$, dressement des lits joints, tamponnage $1^h,10$ à 0,20	0,22
Chevilles	0,25
	0,89
Faux frais et bénéfices, 15 %	0,14
Prix du mètre carré	1,03
En cas d'indemnité au propriétaire, à ajouter	0,48
Prix du mètre carré	$1^f,51$

Les semis d'herbages et gazonnements doivent être entretenus avec un soin constant, débarrassés en temps opportun des mauvaises plantes qui, les empêchant de prospérer, n'apportent d'ailleurs aucune consolidation de surface ; on restaure immédiatement les points détériorés ou mal venus en remplaçant les parties défectueuses par des gazons sains et bien fournis.

Le passage du rouleau est d'un très bon effet après la fauchaison et à la fin de l'hiver, si les gelées ont soulevé le sol.

Lors de l'exécution des travaux d'assainissements et de consolidations nécessités pour l'établissement de la seconde voie sur la ligne de Gretz à Coulomniers, on a constaté que le gazonnement proprement dit aurait entraîné une dépense considérable, et l'on a craint qu'un simple répandage de terre végétale ne présentât l'inconvénient d'être facilement enlevé par les pluies, avant d'avoir fait corps avec le talus.

On a eu alors recours à un système mixte : des bandes de gazon d'une largeur de $0^{m},20$, espacées l'une de l'autre de $1^{m},50$, ont été disposées en losanges et fichées sur les talus. Elles forment ainsi un quadrillage, on répand ensuite et on dame de la terre végétale dans les losanges, puis on sème ; la terre retenue par les bandes ne descend pas sous l'action des pluies, le semis lève facilement et en poussant recouvre bientôt le talus.

Le prix du mètre carré de revêtement a varié de 0 fr. 50 à 0 fr.85.

84. — Boisements. — Sur un sol très friable, composé par exemple de calcaire ou de sable siliceux, les gazonnements ne suffisent pas toujours pour consolider les talus, exposés qu'ils sont à périr par suite de la sécheresse. « Le boisement, dit M. du Breuil dans son *Manuel d'arboriculture des Ingénieurs*, donne de meilleurs résultats. Les racines peuvent s'enfoncer assez profondément pour résister à la sécheresse et fixer convenablement le sol en y formant un réseau continu.

« Pour obtenir ce résultat, il faut que les plantes ligneuses soient très rapprochées les unes des autres et que le boisement soit disposé en taillis exploité tous les dix ou douze ans.

L'état du sol ne permet pas toujours d'effectuer immédiatement des plantations, dit M. Vicaire, ex-directeur général de l'Administration des Forêts, dans son substantiel et intéressant rapport sur le reboisement des montagnes pendant l'année 1863. Partout où l'état du sol l'a permis, il a été effectué des travaux de reboisement proprement dits ; mais, sur les points où ces travaux n'auraient point présenté de chances suffisantes de succès, en raison de l'absence

de terre végétale, il a été procédé à la restauration du sol à l'aide de plantations ou de semis de plantes, gazonnantes ou buissonnantes.

Les agents forestiers ont employé à cette restauration les plantes que l'on rencontre croissant spontanément dans les montagnes.

Les principales de ces plantes sont le genévrier, l'épine-vinette, l'argousier (*hippophaé rhamnoïde*), l'amélanchier, qui se trouvent principalement dans les parties les plus rocailleuses ; la fétuque blanche, dont les touffes volumineuses apparaissent sur les points les plus escarpés des ravins ; le sainfoin et la luzerne, dont les racines profondes sont très propres, par leur enchevêtrement, à la retenue des terres sur les pentes.

Quant au choix des essences, nous conseillerons aux ingénieurs de donner la préférence à celles du pays et parmi elles à certains arbres verts, aux acacias (robinier), saules-marsault, bouleaux, érables, parce que leurs feuilles tombent au pied de l'arbre et sont rarement chassées au loin.

Les arbres dont le voisinage présente de réels inconvénients pour le chemin de fer sont le peuplier et les conifères (pin, sapin etc.), lorsqu'ils sont isolés.

Les feuilles du peuplier tombent à demi desséchées, sont transportées par le vent sur la voie, s'attachent aux rails et déterminent le *patinage* des roues. Quant aux conifères, leur racine pivotante offre peu de résistance à l'action du vent sur la cîme. Ces arbres sont facilement renversés et peuvent encombrer la voie ou tomber sur un train en marche, lorsqu'ils dépassent une certaine hauteur.

Il est donc nécessaire, quand une voie ferrée traverse une forêt de calculer la largeur de l'*essartement* d'après la hauteur que les arbres pourraient atteindre, et délaisser de chaque côté de la ligne une zone débarrassée des produits forestiers qui, indépendamment des inconvénients que nous venons de signaler, peuvent être incendiés par des fragments de combustible échappés du foyer de la locomotive.

Choix des espèces. — Les espèces ligneuses les plus convenables doivent être appropriées à la localité, robustes, d'un développement rapide et vigoureux, se prêter à la culture sous forme de taillis, et porter des racines nombreuses et traçantes.

Les essences comprises dans la liste suivante que nous empruntons à l'ouvrage de M. du Breuil, mentionné plus haut, remplissent ces diverses conditions. Dans tous les cas, l'observation des essences qui croissent le mieux dans le pays sera le meilleur guide à consulter dans le choix des espèces dont on pourra faire usage.

Sols calcaires	*Sols argileux*	*Sols siliceux*
Cytise des Alpes	Orme champêtre	Erable sycomore
Erable sycomore	Peuplier tremble	Orme champêtre
Orme champêtre	— grisard	Peuplier blanc
Prunier de Ste Lucie	Saule marsault	— grisard
Robinier, faux acacia	Erable sycomore	Prunier de Ste Lucie
Épine-vinette (1).	Noisetier commun	Robinier, faux acacia
	Tilleul de Hollande	Saule marsault
	Frêne commun	Tilleul de Hollande
		Cytise des Alpes
		Epine-vinette (1).
		Hippophaé rhamnoïde.

85. — Exécution du boisement. — La question de savoir lequel des deux modes de repeuplement, du semis ou de la plantation, doit être préféré, dit M. Vicaire dans le rapport précité, a toujours été l'objet de beaucoup de controverses.

Il paraît résulter des expériences déjà nombreuses auxquelles a donné lieu l'exécution de la loi sur le reboisement des montagnes, que cette question ne comporte pas de solution absolue.

D'après les observations de M. le Conservateur à Toulouse, on ne pourrait compter complètement que sur la plantation, dans la région de l'Ariège et de la Haute-Garonne.

M. le Conservateur à Aix a fait connaître qu'en Provence au contraire, les plus beaux résultats ont été obtenus par voie de semis.

Dans la plantation, deux écueils principaux sont à redouter : le soulèvement des terres au printemps, dont l'effet produit par les alternatives de gelée et de dégel, est de déchausser et même de renverser les plants, et la sécheresse en été. On parvient souvent à éviter ces écueils en plaçant au pied du plant, lorsque les circonstances le permettent, une ou deux pierres destinées à la fois à empêcher le soulèvement de la terre et à maintenir la fraîcheur à la surface du sol. Lorsqu'on opère sur un terrain gazonné, après avoir détaché une motte de gazon pour placer le plant en terre, on fend cette motte en deux parties que l'on tasse au pied du plant, soit dans la position qu'occupait le gazon avant l'opération, soit en retournant vers le sol la partie gazonnée.

L'époque de la plantation ou du semis est loin d'être indifférente. L'automne est assez généralement considéré comme la saison la plus favorable pour la plantation, et le printemps pour le semis. Cependant, il résulte des

(1). L'épine vinette devra être proscrite des terres à céréales parce que sa présence amène la rouille (*ureda rubigo vera*) dans les champs.

expériences déjà faites que le semis effectué immédiatement après les grandes chaleurs présente plus de chances de succès que le semis du printemps. Le jeune plant paraît avant le froid ; puis survient la neige, qui le couvre et le protège jusqu'au retour du printemps ; il reprend alors sa croissance à peine interrompue et se trouve à l'arrivée des chaleurs, assez robuste déjà pour résister aux ardeurs de l'été.

D'après M. du Breuil, lorsque les semis réussissent, ils se développent toujours plus vigoureusement que les plantations, mais leur succès exige un sol de meilleure qualité pour les premiers temps de leur végétation. Les semis sont généralement précédés par un ameublissement de la surface du talus, ou par le creusement de rigoles qui pourraient, en cas de pluies abondantes, causer de graves détériorations.

Nous croyons donc, pour la facilité de l'opération, qu'il convient de réserver les semis pour les parties de terrains non calcaires, en plan horizontal ou légèrement incliné, telles que bermes, banquettes, dépôts, prélèvements et parcelles excédantes, et opérer par plantation le boisement des talus et des surfaces fortement inclinées ; mais il n'y a rien d'absolu dans cette indication, les circonstances locales devant seules trancher la question du choix du mode de boisement.

Boisement par semis. — Les semis se font soit à la volée, soit dans des rigoles parallèles, soit en pochet, c'est-à-dire dans des trous distants de $0^m,50$ disposés en quinconce. Pour exécuter les semis par rigoles sur un talus, on ouvre à la crête une petite tranchée de $0^m,06$ de profondeur et de $0^m,16$ environ de largeur. Les gazons, les pierres et la terre qui en proviennent sont rangés sur le bord de la tranchée du côté du talus. On pratique de semblables rigoles parallèlement et sur toute la hauteur du talus, en les tenant à la distance de $1^m,50$ en moyenne, suivant le degré plus ou moins prononcé d'inclinaison (fig. 100). Le fond de ces tranchées est labouré et reçoit les semences.

Fig. 100. — Boisement par semis 1/100.

Excepté pour l'orme, qui doit être semé en mai, le moment le plus favorable pour l'ensemencement est, dans le nord, le mois de mars, et dans le midi, le mois de janvier.

On fera bien de couvrir le sol, pendant les deux premières années, de branchages, de tontures de haie, ou de paille longue, pour préserver les semis de la sécheresse.

L'entretien des semis dans ce laps de temps consiste à biner, c'est-à-dire à

ameublir, à aérer la surface du sol autour des jeunes plants, vers le milieu du mois de mai.

Après quatre ou cinq ans, les semis ont pris assez de développement pour supporter le recépage, opération qui consiste à couper les plants à $0^m,03$ ou $0^m,04$ au-dessus du sol. Ce recépage, qui s'exécute en février, a pour but de favoriser l'augmentation du nombre des racines.

Le taillis qui résulte de ce boisement pourra ensuite être exploité tous les huit ou dix ans.

Frais d'ensemencement.—Le montant des frais d'ensemencement dépend:

Du prix de la graine;

Du taux des salaires;

Des difficultés du sol à ensemencer; valeurs qu'il faut établir dans chaque cas particulier.

Nous donnerons seulement ici l'indication des quantités de graine nécessaires et de la préparation des terrains pour quelques essences désignées ci-après.

NATURE des essences	QUANTITÉ de graine par hectare	OBSERVATIONS
Chêne. . .	8 hectolitres.	Défoncer le sol par places à la bêche; enterrer la graine à $0^m,040$ en terre forte et à $0^m,030$ en terre légère.
Hêtre. . .	0,50 . . .	Par places défoncées. Recouvrir la graine de $0^m,030$ de terre.
Charme . .	0,80 . . .	Sol labouré. Graine enterrée à la herse à $0^m,007$.
Érable. . .	45 kilogr. .	Semer au printemps, de crainte des gelées, à $0^m,027$
Orme. . .	15 à 20. . .	Terre très propre. Semer 15 kilogr. par bandes, 20 kilogr. à la volée, à $0^m,007$.
Frêne. . .	30 à 35. . .	Terre sans herbe, à $0^m,020$.
Aune. . .	9 à 10. . .	Semer à sec, en mai, à $0^m,004$.
Bouleau . .	36 à 40. . .	Terre bien nettoyée, hersée après semailles, à $0^m,002$.
Pin Sylvestre	10 à 12. . .	Les meilleurs résultats sont obtenus par l'ensemencement au pochet, à $0^m,015$.
Épicea. . .	25 kilogr. .	Par bandes dans des tranchées, à $0^m,015$.
Sapin blanc.	50 — . .	Par bandes et roulées, à $0^m,015$.
Mélèze. . .	15 à 16. . .	On fera bien de le mélanger avec le pin ou l'épicea, à $0^m,015$.

Les données que renferme le tableau précédent n'ont toutefois rien d'absolu. Admises à titre de simples renseignements applicables au boisement, dans un climat tempéré comme celui du centre de la France, elles devront subir de sensibles modifications lorsqu'il s'agira d'exécuter des travaux analogues dans les régions du nord ou du midi de l'Europe.

Boisement par plantation. — L'époque la plus favorable pour la plantation, dans un sol ordinaire, est l'automne ; si le sol est argileux, compacte, il vaut mieux planter en mars. On choisit des jeunes plants de deux ans de semis, dont un an de repiquage en pépinière. La plantation peut se faire par bandes et en potets. Dans le premier système, on défonce la surface par bandes de $0^m,80$ de largeur et $0^m,40$ profondeur, distantes entre elles de $1^m,50$ à 2 mètres, selon le degré plus ou moins prononcé de l'inclinaison ; on place au fond de la tranchée les terres de la surface, et on ramène à la surface la terre du fond (fig. 101); on accumule sur le bord extérieur de chaque bande cultivée toutes les pierres qu'on rencontre, ou, à défaut de pierres, de la terre, de manière à donner à la surface des bandes une inclinaison prononcée du côté du talus ; on retient ainsi sur chaque bande les eaux de surface qui tout en profitant aux jeunes plants, ne ravinent pas les talus.

Fig. 101. — Boisement par plantation 1/50.

Les plants sont placés en échiquier dans ces bandes, en ménageant entre eux un espace de 1 mètre.

Pour la plantation en potets, on ouvre une série de trous de $0^m,40$ de diamètre et $0^m,30$ de profondeur, disposés en quinconce à $0^m,80$ de distance les uns des autres.

Lors de la plantation, on coupe le tiers environ de la longueur des jeunes tiges et des rameaux, et on place deux plants dans chaque trou, en laissant entre eux un intervalle de $0^m,10$.

Les trous sont remplis de très bonne terre tassée avec le pied, le bord extérieur relevé pour retenir les eaux autour de chaque plant. Comme pour les semis, une bonne couverture placée, les deux premières années en mai, autour de chaque pied, est convenable pour préserver les jeunes plants de la sécheresse.

Vers la fin de février de la troisième année, tous les plants sont soumis au recépage, comme ceux provenant des semis, et traités de la même manière.

La Compagnie du Chemin de fer du Nord a imposé les conditions suivantes pour une entreprise de plantation de talus et de stations sur la ligne de Paris à Soissons :

Les plants pour talus devaient se composer, pour la première classe, d'acacias de pépinière de première force et de deux ans au plus ; pour la deuxième classe, de *ronces vivaces* et bien enracinées.

Pour les stations, les essences comprenaient, dans la première classe, et suivant les prescriptions de la Compagnie, le marronnier, le platane et le tilleul ; dans la deuxième classe, le vernis du Japon, l'acacia, l'érable, le sycomore. Tous ces arbres, de premier choix d'ailleurs, avaient une hauteur de de 2m,25 au moins entre les branches principales et le collet de la racine; ils présentaient, à 1 mètre au-dessus de ce dernier point une circonférence minima de 0m,120 ; la tige bien venue, l'écorce nette et saine, la végétation active, les racines fraîches, bien garnies de chevelu et proportionnées à la force du sujet. S'il est nécessaire d'*habiller* les plants, c'est-à-dire de les couper au point où le pivot des racines diminue très sensiblement de grosseur, ils sont taillés en pied de biche.

Les trous, destinés à recevoir les arbres, doivent avoir 1 mètre de côté et 80 centimètres de profondeur, le sol de la fouille ameubli ; si la terre de la fouille n'est pas de bonne qualité, le trou sera rempli de terre de qualité convenable provenant de prélèvements.

Les prix du marché étaient les suivants :

Arbres des plantations de stations . .	1re classe.	2f,50	la pièce
	2e classe.	2, 00	»
Plantations de talus	1re classe.	35, 00	le mille
	2e classe.	25, 00	»

Ces prix comprennent la fourniture, le transport à pied d'œuvre, la façon des trous d'extraction, le transport et l'emploi des terres de remplissage, l'entretien et le remplacement, s'il y a lieu, des plantations pendant le délai de garantie, fixé à deux ans à dater de la réception provisoire. Les dégradations des talus ou dépendances du chemin de fer, provenant du fait de l'entrepreneur, sont réparées à ses frais.

Aux chemins de fer de Paris à Strasbourg et Wissembourg, des acacias ont été plantés sur de grandes surfaces de talus. Dans les terrains de mauvaise qualité, on rapportait de la bonne terre dans les trous ou pots (*voir plus*

haut) espacés de 1 mètre en quinconce. Quand le sol était bon, la distance était réduite à $0^m,75$.

Un ouvrier plantait au piquet jusqu'à 700 plants par jour; en y comprenant la façon des pots à la bêche ou au hoyau, le prix de revient de main-d'œuvre, bien exécutée, était de 6 fr. 50 à 7 francs par mille de plants.

Les plants de trois ans de repiquage, et de quatre ans d'âge, étaient, à l'origine, payés 10 francs le mille; en 1855, on ne payait plus que 8 fr. 50 et 9 francs.

Les prix de plantations s'établissaient ainsi dans la région du chemin de fer de l'Ouest :

Terrains arides (acacia, bouleau, pin sylvestre, érable, frêne, prunier de Sainte-Lucie, etc.) :

Mille plants de 3 à 5 m/m de diamètre au collet, fourniture et pose .	25f,50
Remplacement des plants morts, faux frais, outils, avances	10, 00
Garantie, entretien et surveillance pendant un an à partir du 1er juin qui suit la plantation	3, 00
Total	38f,50

Terrains humides, marécageux (saules et osiers variés, aunes, châtaigniers, charmilles, ormes) :

Main-d'œuvre pour fouilles et plantations	12f,00
Fourniture de 1000 plants	10,00
Remplacement, entretien, outils, faux frais et garantie pendant un an à partir du 1er juin	10 ,00
Total.	32f,00

86. — Parcelles excédantes du chemin. — Quand les parcelles excédantes sont dans des conditions convenables, on peut les revendre (1) ou les louer pour être cultivées par les méthodes ordinaires; c'est toujours le parti le plus avantageux à en tirer. Mais, quand elles ont servi à l'extraction de matériaux comme chambres de prélèvements, et, qu'ainsi détériorées, ces parcelles ne trouvent pas d'amateurs, elles peuvent être utilisées en leur appliquant les méthodes suivantes, indiquées par M. du Breuil dans son ouvrage précité.

La manière d'opérer varie avec la nature des terrains à utiliser.

Les *terrains secs et siliceux*, pourvu qu'ils soient suffisamment éloignés de la voie (84), sont boisés très convenablement par semis avec des espèces

(1). France. — Art. 60, 61, 62. — Loi du 3 mai 1841.

résineuses. S'ils sont trop rapprochés des rails, on choisira, parmi les essences suivantes, celles qui prospèrent le mieux dans la localité :

Bouleau blanc,
Merisier,
Robinier, faux acacia,
Vernis du Japon,
Chêne vert.

Dans les deux cas, on défoncera le terrain par bandes larges de 1 mètre, profondes de $0^m,60$, laissant entre elles une bande non défoncée, d'égale largeur.

Si on préfère semer des arbres résineux ou du chêne vert, on répand la graine à la volée, et dans la proportion suivante pour 1 hectare :

Pin maritime . .	18 kil.	Pin d'Alep . . .	12 kil.
Pin Sylvestre . .	12 —	Chêne vert . . .	100 —

On répand ensuite, pour la même surface, 6 kilogrammes de graines d'ajonc avec un demi-ensemencement de seigle; on enterre le tout avec un râteau à longues dents ou une herse.

Les plants sont abrités du soleil par le seigle pendant le premier été, et par les ajoncs pendant les années suivantes.

Si l'on choisit le mode *de boisement par plantation*, il faut prendre des plants de deux ans, dont une année de repiquage en pépinière ; on les dispose en quinconce sur la bande défoncée et en deux lignes, chacune à $0^m,25$ du bord. La plantation, exécutée avant l'hiver, sera binée en avril suivant sur toute la surface des bandes défoncées, et garantie par une couverture (85). L'année suivante, nouveau binage à la même époque ; au mois de février, après la seconde pousse, recépage de tous les plants à $0^m,02$ ou à $0^m,03$ du sol ; au mois d'avril, troisième binage. Le boisement est alors abandonné à lui-même.

Quand le *terrain est siliceux et mobile*, on peut le boiser comme le précédent, avec cette différence que le défoncement du terrain devient inutile, puisque le sol est naturellement ameubli ; les semis s'étendent sur toute la surface, et les plants sont disposés sur toute la parcelle, à 1 mètre de distance et en quinconce. En répandant à la volée, immédiatement après la plantation, un mélange de graines d'ajoncs et de genêts, à raison de 8 kilogrammes à l'hectare, on obtient une végétation qui rend les binages inutiles.

Pour les *sols calcaires friables*, les espèces, dont la nomenclature suit, peuvent réussir, en les appropriant au climat :

Érable sycomore,
Bouleau blanc,
Vernis du Japon,
Aune,
Pin sylvestre,
Pin d'Alep,
Merisier,
Prunier de Sainte-Lucie,
Chêne vert.

Les boisements de ces terrains ne réussissent que par plantation, et, si l'on choisit les essences résineuses, il ne faut planter les arbres qu'à l'âge de quatre ans, dont deux ans de repiquage en pépinière ; on opère vers le commencement de mai.

Les *terrains humides* peuvent se boiser de trois manières différentes, selon qu'ils sont *médiocres*, *fertiles* ou *salants*.

Le mode de préparation est le suivant : Il faut, afin de soustraire les plants à la mauvaise influence des eaux stagnantes, relever le sol à planter de 0m,40 à 0m,60 au-dessus du niveau des eaux. Il suffit pour cela d'établir, comme nous l'avons dit (34), une série de plates-bandes de 1 mètre de largeur, surélevées au moyen de la terre prise dans les deux bandes voisines.

Ce travail doit être exécuté en été ; l'automne suivant, on procède au boisement (fig. 102).

Fig. 102. — Plantations des terrains humides (Chemin de Paris-Orléans).

Dans les terrains médiocres, on plante :

L'aune,
Le bouleau,
Le platane,
Le saule-marsault,

Le saule blanc,

Le tilleul de Hollande.

Les deux dernières essences ne prospèrent pas dans l'argile compacte.

Les couvertures ne sont pas nécessaires dans ces terrains peu exposés à la sécheresse ; un binage au mois de mai suffit pendant les deux premières années. Le recépage s'exécute comme dans les plantations dont nous venons de parler.

Les *terrains fertiles* pourront être boisés à l'aide des procédés décrits plus haut ; mais on en tirera meilleur parti en les transformant en oseraies.

Le sol, exhaussé par plates-bandes de 1 mètre pendant l'été, reçoit la plantation fin février suivant. On choisit pour cela les espèces de saules ci-après :

Saule osier ou osier jaune,

Saule hélice,

Saule viminal ou osier blanc,

Saule pourpre ou osier rouge.

On coupe des boutures de $0^m,66$ de longueur et $0^m,025$ de diamètre environ ; on les place sur les deux côtés de la plate-bande à $0^m,25$ du bord, à 1 mètre de distance entre elles et en quinconce. A l'aide d'un plantoir, on enfonce les boutures en terre aux deux tiers de leur longueur. Au bout de la première année, on coupe les brindilles pour donner de la force aux jets des années suivantes.

Les oseraies exigent peu de frais d'entretien ; il suffit d'en écarter les bestiaux, de faire quelques binages pendant les premières années, et d'enlever avec soin les tiges volubiles des liserons qui en s'enroulant sur les jeunes brins, les rendraient cassants, et par conséquent impropres à l'usage auquel on les destine.

Les *terrains salants* se traitent comme les précédents, mais le *tamarix gallica* est le seul arbuste qui s'y développe convenablement ; il se plante en bouture comme les oseraies.

87. — Entretien des boisements. — Les parties boisées doivent être autant que possible entourées de clôtures pour les protéger contre la malveillance ou les atteintes des animaux.

Il faut les nettoyer, c'est-à-dire débarrasser les taillis de cinq à dix ans des plantes parasites, telles que épines, ronces, viornes, genêts, bruyère, etc. ; enlever les brins ou jeunes tiges difformes, les plants d'arbrisseaux qui nuiraient à la végétation des arbres ; on a soin toutefois de ne pas dégarnir le sol, car une place vide est promptement desséchée par le soleil, ce qui amène le dépérissement des arbres voisins.

Après la coupe d'un taillis, les souches produisent un certain nombre de brins, trop nombreux pour prospérer tous ; il est donc nécessaire d'en supprimer plusieurs. On doit, pour ces éclaircies procéder avec prudence et ne dégarnir que successivement, de manière à ne pas exposer le sol à l'action desséchante du soleil.

Produits des talus et dépendances. — Les Administrations de chemins de fer ont tout avantage à étendre et à entretenir en bon état les gazons, semis et plantations qui peuvent prospérer sur les terrains de leur domaine. Indépendamment de la consolidation qu'elle donne aux talus de la ligne, cette végétation produit encore des fourrages ou du bois dont la valeur peut acquérir une certaine importance. Dans la plupart des cas, l'administration du chemin de fer peut tirer un parti convenable, par la culture, de l'emplacement de la deuxième voie, si celle-ci n'est pas établie ou ne doit pas l'être dans un délai rapproché.

L'article 3 des *Instructions* de l'inspecteur des travaux des chemins de fer de l'Etat de Wurtemberg en exploitation prescrit : de mettre aux enchères publiques, pour une location de six années tous les terrains dont l'administration n'a pas l'emploi immédiat ; de louer au printemps de chaque année le produit des fourrages des talus, bermes, emplacements de carrières ou de dépôts, et même de la deuxième voie (voir plus loin les conditions de ces locations); de faire une estimation des produits ligneux, selon leur âge ; enfin de procéder en automne à la vente des fruits provenant des propriétés.

Pour permettre à l'Administration supérieure de suivre dans leur ensemble toutes les branches de ce service, l'inspecteur doit dresser, vers le 1er novembre de chaque année, un état des semences et plantes diverses qui concernent sa section. Cet état se divise en quatre tableaux comprenant :

Les besoins de la section ;

Ses produits probables ;

Les quantités et espèces à tirer des autres sections ;

Celles que sa section pourra leur fournir.

Rendement des locations de fourrages et coupes de bois. — Il est difficile d'indiquer même d'une manière approximative la valeur des produits qu'un chemin de fer peut retirer de la location des fourrages ou de l'abatage des plantations. Quelques chiffres cependant pourront donner une idée des sommes à retirer de cet article de recettes.

Ainsi la ligne de Strasbourg à Bâle, dont la mise en exploitation datait de l'année 1840 donnait encore en 1853, c'est-à-dire avec des talus très vieux

et par conséquent épuisés en partie, un produit annuel de 4.200 francs, soit par kilomètre de chemin de fer $\frac{4.200}{140} = 30$ francs.

La partie des chemins de fer de l'est de la Bavière, concédée le 12 avril 1856 et livrée à l'exploitation dans son entier le 15 octobre 1861, avait, dans l'exercice 1862, produit en récoltes et locations de parcelles et talus 6.420 francs (1), soit par kilomètre $\frac{6.420}{454} = 14^{\text{fr.}},14$.

Les chemins bavarois de l'Etat ont retiré de leurs terrains, dans l'exercice 1860-1861, une somme de 43.266 francs (2), ce qui donne par kilomètre un rendement de $\frac{43.266}{1.173} = 36^{\text{fr.}},80$.

Le compte-rendu de l'Administration des chemins de fer badois indique au chapitre de ses recettes un produit de $27.401^{\text{fr.}},75$ provenant des locations de terrains et bâtiments. La ventilation de ces deux sources de revenu ne ressortant pas des documents publiés, nous ne pouvons en déduire le produit des terrains pris isolément; quoiqu'il en soit, la recette kilométrique de ce chef est de $\frac{27.402}{359} = 76^{\text{fr.}},15$.

Comme on le voit, ces rendements sont très variables et de faible importance; ils pourraient néanmoins être consacrés à des améliorations très utiles à l'exploitation, surtout si l'Administration du chemin de fer portait son attention sur cette source de revenus, qui, en résumé, s'élèvent à 30 et même 80 francs pour un hectare de surface convenablement plantée ou ensemencée, et bien entretenue.

88.— Fourrages. — L'entretien des talus en herbages consiste à les couper souvent, quand les plantes ont acquis un degré de force suffisant, et, dans tous les cas, avant qu'elles montent en graîne. Cette dernière condition doit être observée scrupuleusement par les locataires des fourrages. On exigera du locataire : qu'il emploie la faux seulement sur les parties non plantées, et la faucille dans les autres parties, afin de ménager les jeunes arbres; qu'il débarrasse aussi son lot des chardons et autres plantes nuisibles pour la végétation et dont la présence n'est pas nécessaire à la consolidation des talus.

Voici les conditions imposées par le chemin de fer royal de Wurtemberg pour la location des fourrages :

Art. 1. — L'objet de la location est le produit annuel des talus ou autres

(1) Rapport de M. Denis, Directeur général, pour l'exercice 1861-1862.
(2) Dixième compte-rendu de l'exploitation, page 24.

propriétés de l'Administration. Tous les produits des plantes ligneuses en sont exceptés, la location ne comprenant que le gazon, le trèfle et les autres plantes fourragères. Les produits des ensemencements de l'année courante ne peuvent être coupés que quand les jeunes plantes sont suffisamment vigoureuses. La location cesse le 29 septembre ; passé ce jour, il est défendu de couper ou d'enlever aucun fourrage de la parcelle louée.

Art. 2. — Les herbes doivent être coupées par un temps sec, avec précaution et non arrachées. Les plantes parasites seront sarclées. La fauchaison se fera de manière que les semences ne s'égrènent pas, le séchage du fourrage s'opérera sur la surface du lot loué et non pas sur la voie ou la plate-forme.

Art. 3. — Le locataire se conformera strictement aux règlements du chemin et aux instructions du personnel de la surveillance. Il lui est interdit : de circuler sur la voie et d'enlever le fourrage autrement que d'après les indications préalables du personnel, de marcher sur les talus en temps de pluie, de franchir les clôtures et de communiquer avec les parcelles louées par d'autres voies d'accès que les passages à niveau quand ils sont ouverts, de transporter les fourrages par chariots ou brouettes, ce transport devant s'effectuer uniquement à bras ou à dos d'hommes.

Pour faciliter l'accès des herbages, les cantons à louer sont en général divisés de manière qu'ils touchent à un chemin ou à un passage à niveau. Dans le cas contraire un droit de passage pour la parcelle enclavée sera réservé sur les autres parcelles touchant aux voies d'accès, et ce conformément aux indications des agents de la surveillance. Au reste le locataire doit ménager à ses frais des chemins ou entrées quand il n'en existe pas ou quand ceux qui existent ne peuvent être mis à sa disposition.

Art. 4.— En cas de dommages et infractions aux règlements, les locataires indemniseront l'Administration des dommages causés, et se soumettront, sans opposition aux punitions infligées par le service de police du chemin ; sous ce rapport chaque locataire est responsable des infractions commises par les membres de sa famille ou par ses ouvriers.

Art. 5. — En cas de résistance ou de désobéissance le contrevenant encourra la privation de la jouissance du bail, indépendamment de la punition qui pourra lui être infligée.

Art. 6. — L'Administration ne garantit pas la contenance de la parcelle louée, quand bien même elle serait indiquée dans les actes.

Art. 7. — Il est interdit de sous-louer.

Art. 8. — Pour les parcelles attenant aux ouvrages d'art et aux rivages,

l'Administration se réserve le droit de les traverser en tout temps à pied ou en voiture en cas de besoin, sans que le locataire ait le droit de réclamer aucune indemnité de ce chef.

ART. 9. — En général les locataires n'auront droit à indemnité que dans les cas où ils seraient privés, totalement ou en partie de la jouissance de la location par l'exécution de travaux de construction.

On prendra pour base de l'indemnité le prix de la location, l'importance de la surface et la valeur des produits déjà retirés.

Il n'y aura lieu à aucune indemnité pour légers dommages causés aux récoltes par les travaux de réparation ordinaire de la voie et de ses dépendances ou par d'autres circonstances.

ART. 10. — La location est faite aux enchères publiques contre payement au comptant ; la récolte ne peut être entamée qu'après versement intégral du prix de la location dans la caisse des agents désignés à cet effet et sur la présentation de leur quittance au garde-ligne.

ART. 11. — Chaque locataire doit fournir une bonne et solide caution.

ART. 12. — Les surenchères ne sont pas admises.

La Compagnie des Chemins de fer de l'Est fait prendre aux locataires des foins et herbages l'engagement suivant :

Je soussigné :

Propose d'acquérir, de la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, la récolte à faire en la présente année des foins et herbages se trouvant sur les dépendances dudit chemin, entre . . . . . et. . . . . .

Cette récolte me sera vendue pour entrer en jouissance à partir du jour où l'acceptation de la présente soumission me sera notifiée par la Compagnie et la jouissance, par moi cessera de plein droit le 11 novembre prochain sans qu'il soit besoin à cet effet d'aucun avertissement extra-judiciaire ou autre.

Je déclare soumissionner ladite acquisition aux conditions suivantes :

1° J'extrairai du lot qui m'est affermé tous les chardons, ronces et autres plantes nuisibles sans exception ;

2° La coupe des herbes se fera à la faux dans les parties non plantées et à la faucille dans les parties plantées ;

3° Elle aura lieu à deux époques seulement, laissées à mon choix ; toutes coupes successives et partielles sont interdites ;

4° Il ne pourra, de mon fait être introduit sur les talus et autres dépendances du chemin de fer, aucun troupeau ni aucun animal, sous quelque prétexte que ce soit.

En conséquence, l'enlèvement des herbes coupées se fera à dos d'homme par le pied des talus de tranchée; dans aucun cas, à moins d'autorisation spéciale, je ne pourrai passer ni faire passer sur la plate-forme du chemin de fer, ni la traverser, je m'interdis également de demander qu'il soit fait dans les clôtures, pour l'enlèvement des herbes dont il s'agit, des ouvertures exceptionnelles.

Je m'engage à prendre les précautions nécessaires pour qu'aucun dégât ne soit fait aux clôtures ni aux parties plantées des talus des francs-bords et des autres dépendances du chemin de fer, à être responsable de tout dommage qui y serait causé par la coupe ou l'enlèvement des herbages faisant l'objet de la présente soumission.

Je m'engage enfin, à payer préalablement à toute coupe d'herbe la somme de . . . . . montant du prix sus-mentionné.

Cette somme sera versée à M. le Chef de Section sur sa simple quittance.

Fait à . . . . . , le. . . . . mil huit cent. . . . .

89. — Coupes de bois. — Nous avons indiqué précédemment les soins à donner et les travaux à effectuer, tels que : binages, couvertures et recépages pour entretenir les plantations et en retirer tous les produits qu'elles sont susceptibles de donner.

Les boisements des talus ou parcelles bien exécutés peuvent être exploités différemment, selon les espèces d'arbres qui les constituent. S'ils consistent en oseraies, la coupe de la deuxième année est déjà productive, mais elle devient plus avantageuse d'année en année. C'est en février ou au plus tard en mars qu'il faut faire la coupe des osiers. Les pousses sont détachées à $0^m,01$ ou $0^m,02$ du tronc, qui devient ainsi une sorte de têtard ; celles de la deuxième année ont déjà $1^m,30$ à 2 mètres de haut. La troisième année, elles ont communément $2^m,50$ à 3 mètres.

Les produits des oseraies ont un écoulement facile dans 'industrie privée; mais ils peuvent être avantageusement utilisés par l'Administration du Chemin de fer sous forme de plants pour repeupler les talus, les haies, etc., et de liens pour les fagots provenant des taillis des autres boisements.

L'exploitation du tamarix se fait en taillis tous les six ou huit ans.

Les espèces ligneuses autres que les résineux sont exploitées à l'âge de dix ou douze ans, sous forme de taillis.

L'époque la plus favorable pour la coupe de bois en taillis est la fin de l'hiver, les grands froids passés. La coupe des brins doit être faite le plus près

possible de la souche et dans une direction inclinée, afin de rejeter l'eau des pluies qui, en séjournant sur la plaie, détermine la carie.

Quant aux arbres résineux, qui ne sont pas d'ailleurs soumis au recépage, on ne les exploite que dans un âge très avancé et lorsqu'ils produisent des graines qui peuvent déterminer un repeuplement naturel. Il convient de ne procéder à cette exploitation qu'au moyen d'éclaircies.

90. — Pépinières. — Un chemin de fer en exploitation a constamment besoin de jeunes plants, soit pour l'entretien des haies ou boisements, soit pour l'établissement de nouvelles plantations nécessitées par la construction d'embranchements, ou le déplacement des plantations existantes.

Une Administration a-t-elle avantage à donner ces travaux et fournitures à l'entreprise ou à les effectuer avec ses propres ressources? La réponse à cette question semble résulter des indications des autorités que nous invoquons ci-dessous.

En général, dit M. du Breuil dans son ouvrage déjà cité, les administrations publiques trouveront plus d'avantage à créer des pépinières qu'à s'adresser à l'industrie privée. Elles pourront se procurer ainsi plus facilement les espèces ligneuses qu'elles voudront planter. Ces arbres plus convenablement élevés dans le voisinage de la plantation, souffriront moins du transport pourront être déplantés avec plus de soin et revenir à un prix moins élevé que si on les demandait à l'industrie privée. Mais ces avantages ne se produiront que si les conditions suivantes peuvent être remplies :

1° Posséder un terrain d'une étendue suffisante et d'une nature convenable;

2° Disposer d'ouvriers intelligents et parfaitement au courant de ces sortes de travaux.

Au sujet des frais que la création et l'entretien des pépinières peuvent occasionner, nous extrayons du rapport de M. Vicaire, mentionné plus haut, les indications suivantes :

Dès le début de l'opération du reboisement des montagnes, l'administration a senti la nécessité de se soustraire à l'obligation de recourir au commerce dont les prix sont élevés et dont les produits ne sont pas toujours irréprochables. Elle commence à recueillir les fruits de sa prévoyance.

La pépinière d'Arpajon, comprenant 7 hectares 43 ares, a coûté depuis son établissement jusqu'à la fin de 1863, la somme de 51.252 fr. 60 pour acquisition du terrain, construction d'une maison forestière, travaux de préparation et d'entretien, achats de graines, frais de garde et autres dépenses de toute nature.

Elle a fourni depuis son installation 4.365.310 plants résineux ou feuillus d'une valeur de 42.712 fr. 60 d'après les prix du commerce.

La dépense annuelle d'entretien, de renouvellement des plantes épuisées et de surveillance s'élèvera à 10 ou 12.000 francs et le rendement de la pépinière, par an, devra être de 6 à 8 millions de plants qui, à raison de 10 francs en moyenne, représentent une valeur de 60 à 80.000 francs.

§ II.

Clôtures.

91. — But et utilité. — Le but des clôtures des chemins de fer est de mettre obstacle à l'introduction des personnes étrangères au service et des animaux sur la voie ou ses dépendances. Ce résultat ne pouvant être obtenu d'une manière absolue que par des moyens excessivements coûteux, les administrations ont dû se contenter d'établir sur la majeure partie de l'étendue de leurs lignes des clôtures plus ou moins efficaces, mais d'un prix relativement élevé.

En France, l'Administration en prescrivant que « tout chemin de fer sera clos des deux côtés et sur toute l'étendue de la voie, suivant un mode de clôture et les dispositions autorisés, » n'a point eu en vue les intérêts particuliers, mais bien la sécurité publique seulement. Aussi les clôtures généralement employées sont plutôt ce que l'on peut appeler des *clôtures morales* que de véritables obstacles à l'introduction des bêtes et gens sur la voie.

En France quelques propriétaires riverains se sont plaints de l'insuffisance des clôtures, et de la facilité que les divers systèmes employés donnaient à l'accès du bétail dans l'enceinte de la ligne. Ils ont même attaqué les Compagnies en dommages-intérêts pour accidents survenus à leurs animaux qui avaient pu s'introduire sur la voie ; d'autres ont voulu obliger les Administrations de chemins de fer à modifier leurs clôtures. Les pouvoirs publics ont repoussé ces prétentions (1), par la raison que le mode de clôture appliqué par les chemins de fer ayant été approuvé par l'Administration supérieure, conformément à la clause du cahier des charges citée plus haut, il n'y avait lieu d'exiger d'elles qu'un entretien convenable.

(1) Conseil d'Etat, 25 mai 1859. — Sénat, séance du 12 février 1864. — Rapport de M. de Lesseps.

Or il y a lieu de distinguer entre les lignes à circulation intense et celles à circulation restreinte. Etait-il logique d'imposer aux lignes d'intérêt local à faible trafic n'ayant par jour que trois ou quatre trains dans chaque sens une dépense de 2.000 à 3.000 francs par kilomètre ?

La Commission chargée de l'enquête de 1862 s'est prononcée pour la négative et a indiqué que dans beaucoup de cas les clôtures étaient inutiles ou trop coûteuses (1), et a proposé au Ministre de supprimer la prescription législative générale qui liait sous ce rapport le gouvernement ainsi que les Compagnies; et de laisser à l'Administration le soin de prononcer, non seulement sur le mode de clôture, mais sur la nécessité même d'une clôture quelconque.

L'article 4 de la loi du 12 juillet 1865 porte : « le préfet peut dispenser de poser des clôtures sur tout ou partie des chemins. »

« Il peut également dispenser d'établir des barrières au croisement des chemins peu fréquentés. »

Depuis cette époque on est allé encore plus loin et la loi du 27 décembre 1880 autorise le Ministre des Travaux Publics à dispenser les Compagnies d'établir des clôtures fixes sur les lignes d'intérêt général toutes les fois que cette mesure n'est pas incompatible avec la sécurité.

Enfin les chemins de fer d'intérêt local sont depuis la même année dispensés de toute clôture, et à plus forte raison les chemins de fer dits économiques ou secondaires.

A l'étranger on était entré dans cette voie depuis longtemps et bon nombre de lignes parcourues par des trains à grande vitesse attendent encore les clôtures que le cahier des charges de la concession avait imposées (Compagnie Royale des chemins de fer portugais).

Il faut d'ailleurs reconnaître, que tout en voulant réaliser cette économie qui devient intéressante pour une ligne dont le prix kilométrique est réduit au minimum, les Compagnies cherchent toujours à isoler la voie le plus possible et profitent à cet effet de toutes les circonstances locales.

Le mode de clôture généralement adopté en France consiste en une plantation de haies vives remplacée provisoirement, jusqu'à ce qu'elle soit suffisamment défensive, par une clôture en bois ou en fil de fer.

En Angleterre, tous les chemins sont pourvus de clôtures en bois, mais les haies vives ne s'y rencontrent pas toujours. Aux clôtures coûteuses on a substitué sur quelques embranchements, en Irlande, de simples fossés dont le

(1) Enquête sur l'exploitation et la construction des chemins de fer p. CXXX.

déblai est rejeté sur la limite du chemin de fer et disposé en cavalier qui forme défense.

A peu d'exceptions près, les chemins de fer allemands, belges, suisses, espagnols, grecs, portugais, etc., ne sont pourvus de clôtures que dans les parties de lignes où cette disposition est reconnue indispensable pour prévenir les actes de malveillance ou assurer le service, comme aux abords des villes importantes, des passages à niveau à grande circulation, dans les pâturages etc.; sur tout le reste du parcours, même lorsque des routes assez fréquentées suivent la voie sur une certaine étendue, il n'y a souvent pour toute séparation qu'un fossé et un cavalier (1).

92. — Haies vives. — Les clôtures sèches n'ont qu'une durée très limitée et réclament un entretien assez coûteux. On leur substitue, quand on le peut, des haies formées de végétaux à croissance rapide et suffisamment vigoureux pour permettre l'enlèvement des clôtures sèches dans le plus bref délai possible.

L'entretien des haies vives ne laisse cependant pas de prendre quelque importance, en certains cas, de telle sorte qu'il peut être quelquefois plus économique de conserver les clôtures sèches (99).

Forme (2). — Les haies doivent être plantées à $0^m,50$ de la limite des propriétés voisines du chemin de fer. On leur donne ordinairement une hauteur de $1^m,33$ à $1^m,66$ sur $0^m,40$ à $0^m,50$ d'épaisseur (fig. 103), les dimensions varient suivant les localités; les plus faibles sont adoptées sur les points où l'assèchement de la voie laisse à désirer et où par conséquent, il faut laisser à l'air toute liberté de passage.

(1) Sur le chemin de fer turc Rustschuck-Varna (230 kilomètres), cette dernière précaution est complètement omise, de telle sorte que les animaux au pâturage franchissent la voie, souvent même devant le train. Il n'est pas rare non plus de rencontrer des bestiaux endormis entre les rails, ce qui, quelquefois amène des déraillements, bien que les machines soient munies de l'appareil employé en Amérique (cow-catcher) pour rejeter en dehors de la voie les objets qui l'encombrent.

L'Administration turque s'est décidée à subir les inconvénients de l'absence de clôtures à la suite de l'expérience faite sur la petite ligne de Czernawoda-Kustendje. En premier lieu, cette ligne était garnie de clôtures; mais par les passages à niveau incomplètement gardés, les bestiaux s'introduisaient sur la voie. Quand un train arrivait, les animaux ne pouvant plus s'échapper latéralement suivaient la voie et se trouvaient bientôt atteints par la machine. A la suite d'accidents graves résultant de ces dispositions, l'Administration a fait supprimer les clôtures.

(2) Du Breuil. *Arboriculture des Ingénieurs*.

Dans quelques cas particuliers, comme au chemin de fer de Strasbourg à Bâle, où la largeur des emprises est insuffisante pour maintenir la haie à la

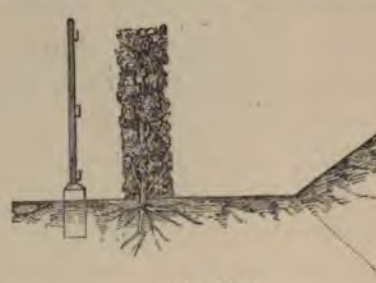


Fig. 103.
Haie plantée en position normale 1/50.

Fig. 104.
Haie à la crête d'un talus 1/50.

distance légale, on incline les haies vers leur base puis on les élève verticalement (fig. 104) ; mais les haies ainsi établies souffrent beaucoup de la sécheresse, leurs racines ne pouvant pas s'enfoncer profondément à cause des tontes fréquentes. Sur quelques lignes, on plante de distance en distance un arbre de haut jet. Cette forme est vicieuse, car les arbres en se développant, épuisent le sol environnant au détriment des jeunes plants.

Choix des essences. — Appropriation au climat et au sol. — Les essences les plus propres à la formation des haies sont celles qui satisfont le mieux aux conditions suivantes :

Croître en lignes serrées ;

Présenter constamment une tige bien garnie de rameaux ;

Avoir des racines peu traçantes et sans influence fâcheuse pour les propriétés riveraines ;

Supporter des tontes fréquentes ;

Se maintenir en bon état de végétation malgré la contrariété apportée à leur croissance.

Voici la liste des essences rangées suivant le climat, la nature du terrain et l'ordre de préférence à leur donner.

POUR LE NORD, L'EST ET L'OUEST DE LA FRANCE :

Sols argileux

Aubépine.
Prunellier sauvage.
Nerprun cathartique.
Erable champêtre.
Poirier sauvage.
Houx commun.
Pommier sauvage.
Charme.
Orme.
Hêtre.

Sols calcaires

Aubépine.
Prunellier sauvage.
Nerprun cathartique
Prunier de Sainte-Lucie.
Epine-vinette.
Orme.

Sols siliceux

Aubépine.
Prunellier sauvage.
Nerprun cathartique.
Poirier sauvage.

Sols siliceux (suite).

Prunier de Sainte-Lucie.
Charme.
Epine-vinette.
Orme.
Oranger des Osages (Maclura aurantiaca).
Olivier de Bohême.

Terrains salants

Tamarix gallica.
Hippophaé rhamnoïde.

POUR LE MIDI DE LA FRANCE :

Sols argileux

Aubépine.
Prunellier sauvage.
Poirier sauvage.
Paliure.
Grenadier.
Chêne kermès.
Erable de Montpellier.
Mûrier blanc.
Olivier sauvage.

Sols siliceux

Aubépine.
Prunellier sauvage.
Poirier sauvage.
Prunier de Sainte-Lucie.
Paliure.
Grenadier.
Chêne kermès.

Sols siliceux (suite)

Erable de Montpellier.
Mûrier blanc.
Olivier sauvage.
Hippophaé rhamnoïde.
Olivier de Bohême.

Sols calcaires

Aubépine.
Prunellier sauvage.
Prunier de Sainte-Lucie.
Paliure.
Erable de Montpellier.
Chêne kermès.
Olivier sauvage.

Terrains salants

Tamarix gallica.
Atriplex halimus.
Hippophaé rhamnoïde.

Dans les terrains siliceux, M. Vilmorin conseille, pour former des haies d'employer l'ajonc ou jonc marin qui se sème en ligne, à raison de 10 kilogrammes pour 100 mètres. Il faut seulement avoir la précaution de préserver les jeunes plants de la dent des bestiaux pendant les deux premières années ; au bout de trois ans, la clôture est suffisamment défensive.

On peut encore établir des haies très résistantes avec le pin sylvestre l'épicéa, le chêne, le cornouiller. D'après M. Burger, ancien conseiller d'Etat et professeur d'agriculture en Autriche, le pin mérite la préférence dans toutes les contrées où la température permet la culture de cet arbre. Il supporte facilement la transplantation lorsqu'il est jeune ; il croît rapidement et forme un massif dont l'impénétrabilité ne le cède qu'à celle du cornouiller, le plus

épais des arbrisseaux, et ne sert pas de séjour et d'aliment aux chenilles. En Carinthie et surtout en Styrie, on ne plante pour ainsi dire que des haies de pin, qui peuvent d'ailleurs durer plus de cinquante ans.

Lors de la construction des chemins de fer badois, on avait planté des mûriers pour former les haies de clôture; cette espèce ne réussit pas et on la remplaça par diverses essences appropriées au sol et à la localité, telles que le saule, le troène, etc.

Nous ferons observer toutefois que le saule se dégarnit par le pied et qu'il faut prendre la précaution, en le plantant, de l'incliner à 45° pour que la haie soit convenablement fournie dans le bas.

En général, on fait bien de ne pas mélanger plusieurs espèces pour former la même haie, car les plus fortes se nourrissent au détriment des plus faibles; les anéantissent et occasionnent ainsi des vides. Quand on veut varier les espèces il faut les répartir sur plusieurs sections distinctes.

Rappelons que dans les pays moins tempérés les essences à employer offrent un choix considérable; en Algérie, par exemple, les cactus limitent presque généralement la voie ferrée.

93. — Préparation du sol. — Formation des haies. — Dans le courant de l'été, on ouvre une tranchée de $0^m,75$ de largeur et de profondeur en moyenne. Les mottes doivent être brisées, la terre ameublie et purgée avec soin des herbes, des pierres et des racines. On réunit la terre végétale de manière à la placer en contact immédiat avec les racines des jeunes plants.

Sauf le plant de prunier de Sainte-Lucie, qui ne doit être âgé que d'un an, tous les plants auront deux ans, dont un de repiquage en pépinière. Les plants de forêts sont proscrits d'une façon absolue.

Le diamètre des brins, mesuré à $0^m,05$ au-dessus du collet de la racine, sera de $0^m,005$ au minimum.

Chaque brin sera parfaitement sain, vivace, bien enraciné et *habillé* au moment de la plantation, c'est-à-dire que les extrémités des racines seront recoupées en bec de flûte, généralement à 5 centimètres à partir du collet de la racine.

La plantation se fait en automne et, autant que possible, en novembre. La tranchée est remplie, comme on l'a vu plus haut, les jeunes plants étant disposés sur une ou deux lignes au milieu de la fouille et à des distances variables, selon les essences. On les écarte ordinairement de $0^m,07$ à $0^m,10$ les uns des autres, de sorte qu'il en entre 10 à 12 par mètre courant. Cependant

certaines essences, tels que le maclura, l'argousier, le paliure épineux, doivent être écartés de $0^m,12$ à $0^m,13$. Quand le terrain est de bonne qualité, on se contente de fouiller le sol sur 10 centimètres de largeur et $0^m,20$ à $0^m,25$ de profondeur ; il est bon de ménager à la surface du sol une dépression dans l'axe de la fouille pour ramener l'eau vers les plants.

Il faut, dès le premier été, défendre les jeunes plants contre la sécheresse ; on obtient ce résultat au moyen de deux binages pour les terrains compactes, ou de couvertures pour les sols légers. Les binages ou ameublissements du sol jusqu'à $0^m,06$ de profondeur s'effectuent au moyen de la fourche à dents plates, de la houe fourchue ou de la binette. Au chemin de fer de l'Ouest on se sert de la binette à crochets (fig. 105 A) ou de la binette simple (figure 105 B).

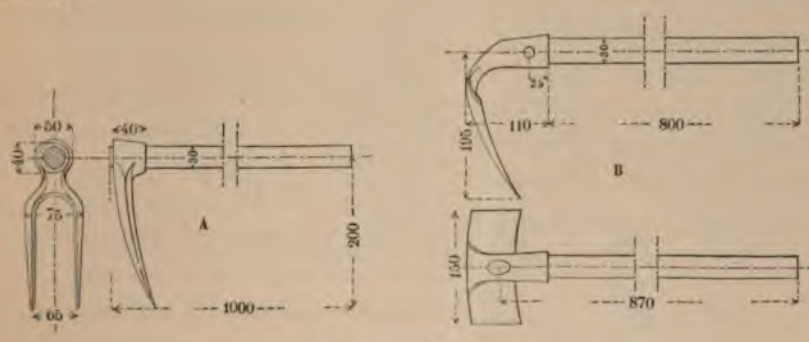


Fig. 105. — Binettes.

Au printemps pour les terrains légers et en automne dans les sols compactes on exécutera un labour avec les mêmes instruments de chaque côté de la haie.

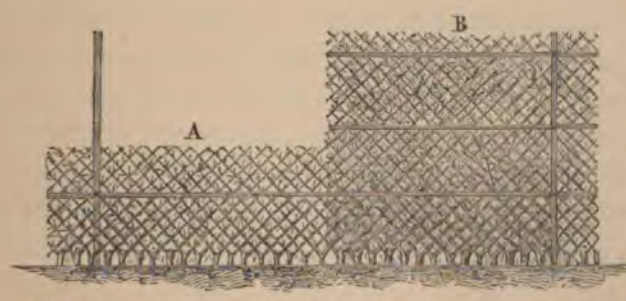


Fig. 106. — Haie croisée à 4 ans A — Haie croisée à 6 ans B.

Ces opérations seront répétées l'année suivante et ce sera seulement vers la fin de cette seconde année, quand les plants seront bien repris, qu'on procè-

dera au recépage, à $0^m,06$ environ au-dessus du sol. Après la chute des feuilles, on plante à 3 mètres de distance les uns des autres, des pieux ayant la hauteur que doit atteindre la haie (fig. 106).

Puis on incline, les unes sur les autres, les jeunes tiges développées à la suite du recépage en les couchant à 45 degrés ; on enlace les branches les unes dans les autres, en divisant également les brins à droite et à gauche de la haie. On maintient la haie avec une, deux ou trois lisses fixées aux pieux, selon la hauteur qu'elle atteint.

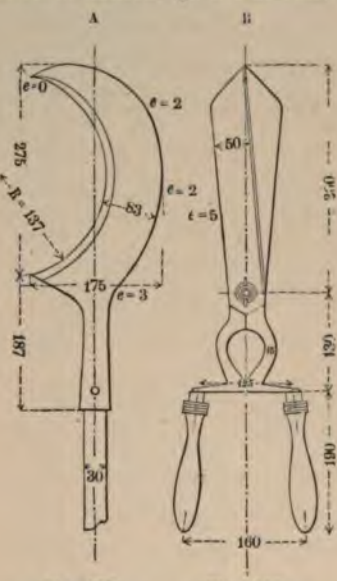


Fig. 107. Croissant. Fig. 108. Cisaille.

La figure 106 indique la disposition d'une haie croisée à deux périodes de sa croissance. L'une des moitiés, A, représente la haie dans sa quatrième année ; l'autre, B, lorsqu'elle est parvenue à sa sixième année.

La disposition des brins croisés favorise singulièrement la croissance et la formation complète de la haie.

Pendant la troisième année qui suit le recépage, on appliquera une tonte qui sera répétée tous les deux ans, toujours en hiver, bien entendu, et *jamais pendant la période active de la végétation.*

On se sert pour cette opération du croissant (fig. 107) et des ciseaux à tondre (fig. 108).

94. — Entretien des haies. — Les haies formées ne demandent pour leur entretien annuel qu'un binage en été, un labour avant ou après l'hiver, une tonte au printemps sur les deux faces et au sommet.

Lorsqu'elles ont trop d'épaisseur, on pratique un élagage sur le vieux bois. Dans les haies verticales, cet élagage produit des vides très marqués, ce qui n'a pas lieu pour les haies croisées. Ces vides s'élargissent promptement par le passage que les piétons y établissent, si on ne met pas obstacle à la circulation.

Quand le besoin de remplacer les brins morts ou trop languissants se fait sentir, il faut procéder sans délai au remplacement : sinon, les racines des plantes voisines envahiraient l'espace vide. Pour les empêcher d'y pénétrer, on sépare les parties remplacées du reste de la haie, au moyen de planches

ayant toute la largeur et toute la profondeur de la fouille. Autant que possible, on choisira, pour les remplacements, des plants de même âge que ceux environnants.

Le *rajeunissement des haies* devient nécessaire quand, fatiguées par les tontes et élagages successifs, elles dépérissent. Ce rajeunissement s'obtient en recépant les haies à quelques centimètres au-dessus du sol. Cette opération doit être effectuée à la fin de l'hiver. Au printemps, on exécute un labour profond avec la bêche trident ou la houe bident. Si le sol n'est pas calcaire, on lui appliquera avant l'hiver, sur une largeur de $0^m,70$ de chaque côté de la haie, un marnage abondant, qui est enterré par le labour du printemps.

Enfin, pour *restaurer* les haies dont les brins ont crû verticalement, on les recépera comme il est dit plus haut, et à la fin de la seconde année, la haie sera complètement rétablie.

Les ouvriers chargés de l'entretien des haies doivent faire deux échenillages, l'un après la chute des feuilles, l'autre au commencement de l'été. Il faut munir d'un râcloir en fer les ouvriers chargés de ce travail, afin d'éviter les accidents inflammatoires qui résultent du contact des mains avec le duvet dont certaines chenilles sont recouvertes. Les nids, bourses et tissus de chenilles seront brûlés à chaque opération plutôt qu'écrasés.

Fourniture et formation des haies à l'entreprise. — Quand une administration ne dispose pas de pépinières et du personnel nécessaires elle confie à un entrepreneur la fourniture et l'entretien des haies jusqu'à ce qu'elles soient défensives. Quelquefois, comme au chemin de fer de l'Ouest, l'entrepreneur est en même temps chargé d'entretenir les clôtures sèches et les fossés supplémentaires jusqu'à la réception définitive, qui a lieu dix ans après la réception provisoire. L'entrepreneur est tenu, dans ce cas, d'avoir en permanence des ouvriers (des gardes-haies) munis de tous les outils nécessaires tels que houe, binette, râtissoire, croissant, ciseaux, sécateur, bêche, marteau, masse et tenailles, enfin d'un approvisionnement de fil de fer et de pointes.

Ces ouvriers sont assermentés et astreints à certaines prescriptions (Chapitre XII).

En Belgique, plusieurs chemins de fer ont appliqué un système différent pour établir leurs haies. Ils ont traité avec un entrepreneur pour la clôture du chemin, en divisant les haies en trois classes : la première, formée de sept plants par mètre courant, de $1^m,20$ de hauteur, maintenus par deux piquets et trois lattes parallèles ; la deuxième, de sept plants de $0^m,60$ de hauteur,

sans piquets ni lattes ; la troisième enfin, du même nombre de plants, mais de $0^m,30$ de hauteur seulement.

L'entrepreneur garantissait la bonne venue des haies pendant trois ans et remplaçait à ses frais tous les plants, piquets et lattes qui venaient à manquer pendant le délai de garantie.

95. — Prix de revient des haies. — Par marchés passés en 1851 et 1852, la Compagnie du Chemin de fer de l'Est a traité pour la fourniture, la pose et l'entretien des haies vives, aux conditions suivantes :

A la réception provisoire, le mètre courant. . fr.	0,28
A la fin de chaque année, jusqu'à la 7e 0,06 × 7	0,42
A la fin de la huitième année après réception définitive.	0,12
Total. . . fr.	0,82

En 1854 la Compagnie du Chemin de fer du Midi a fait un marché analogue, établi sur les bases qui suivent :

Fourniture, transport et plantation de haies vives	0,35
Entretien pendant 10 ans à raison de 0,05 par an	0,50
Total. . . fr.	0,85

Les paiements étaient ainsi échelonnés : à la réception provisoire, 50 % du prix des haies ; 30 % au 1er juin suivant, lorsque les $\frac{2}{3}$ des plants avaient donné des feuilles ; 10 % au bout de la cinquième année ; 10 % au bout de la dixième année, après réception définitive.

Les travaux d'entretien se payaient, par trimestre, à raison de 90 % du montant dû pour le trimestre écoulé, sur le pied de 0,05 par mètre et par an ; 5 % du prix d'entretien des cinq premières années étaient soldés à l'expiration de la cinquième année, et les 5 % derniers, à la fin de la dixième année.

La Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest a conclu, en 1854, pour la fourniture des haies vives et leur entretien pendant 10 ans, un marché dont voici les prix par mètre courant :

Fourniture et plantation. . . . . fr.	0,20
Entretien pendant huit ans à raison de 0 fr. 05.	0,40
Total. . . . fr.	0,60

L'entrepreneur était chargé, en outre, de l'entretien des clôtures sèches, à raison de 0 fr. 03 par mètre et par an.

Les paiements se sont ainsi effectués :

Pour la fourniture, 90 % du prix fixé, au fur et à mesure de l'avancement; 5 % au bout de trois ans, pour les haies en bon état; 5 % à la fin de la dixième année.

Pour l'entretien 90 % à la fin de l'année.

Sur le Chemin de fer du Nord, les fourniture et plantation des haies de la ligne de Paris à Soissons étaient ainsi arrêtées, d'après un marché passé en 1856 :

Fourniture et plantation.	fr.	0,18
Entretien pendant 6 ans à 0 fr. 06.		0,36
Total . . .	fr.	0,54

Enfin on a traité sur les chemins de fer belges aux prix suivants pour la fourniture des haies indiquées plus haut :

Haie de première classe (1^m,20).	fr.	1,20
— deuxième — (0^m,60).		0,60
— troisième — (0^m,30).		0,30

garantie et entretien pendant trois ans à la charge du fournisseur.

Voici le sous-détail d'une entreprise de plantation de haies au mètre courant :

Défoncement d'une tranchée de 1 mètre de largeur sur 0^m,35 de profondeur.	fr.	0,20
Fourniture de 12 plants ayant 3 à 6 millimètres de diamètre. .		0,12
Transport, taille, plantation.		0,02
Remplacement des plants morts, faux frais, outils.		0,04
Entretien et garantie pendant un an à partir du 1er juin qui suit la plantation, 2 binages, échenillages, etc.		0,08
Total . . .	fr.	0,46

Sur quelques chemins prussiens, après avoir établi la clôture sèche en latice dont nous verrons plus loin la description (101), on a planté six à sept boutures d'épine blanche ou de prunier sauvage, au prix de 0 fr. 33 par mètre courant, y compris l'entretien jusqu'à l'époque où la haie atteint une

hauteur de $1^m,25$ et où la clôture en latice n'est plus nécessaire, ce qui a lieu au bout de quatre à six années.

Combinée avec le prix de la clôture sèche en latice, estimé à 1 fr. 28 par mètre, la clôture de la ligne reviendrait à 1 fr. 61 par mètre courant.

96. — Haies fruitières. — L'idée ingénieuse de chercher à tirer parti de la nécessité où se trouvent quelques lignes de se clore ne nous semble cependant pas destinée à recevoir de bien importantes applications, car les arbres fruitiers réclament un terrain de bonne qualité — ce que l'on rencontre assez rarement — un arrosage fréquent pendant les premières années — chose difficile à exécuter sur un grand nombre de points — et enfin un treillage pour les supporter.

Si le treillage est supprimé, la haie fruitière devient difficilement défensive.

97. — Clôtures sèches. — A. Clôtures à lisses. — Comme nous l'avons vu précédemment (91), la voie d'un chemin de fer et ses dépendances sont séparées des propriétés riveraines par une clôture, qui consiste généralement en une haie vive ; mais jusqu'à ce que celle-ci ait atteint un degré de croissance suffisant, la séparation est obtenue au moyen de clôtures sèches.

Il existe un grand nombre de types de clôtures que l'on applique selon les localités ; mais quelque soit le système adopté, il est important de le maintenir constamment en bon état d'entretien, car si, à la suite d'un accident survenu sur la ligne en exploitation, on pouvait constater que la clôture présentait des lacunes ou autres défectuosités, en un mot, si elle ne se trouvait pas dans l'état où l'Administration supérieure en a opéré la réception, la Direction du chemin de fer s'exposerait à des réclamations en dommages-intérêts, sans préjudice des autres conséquences qu'une décision judiciaire pourrait entraîner.

Les clôtures doivent suivre exactement le tracé des limites du domaine du chemin de fer (94).

La plus simple de toutes les clôtures sèches est celle en bois de pin des Landes dite à *deux lisses*, appliquée aux Chemins de fer du Midi, soit sur les parties où la vaine pâture n'existe pas et où se trouvent seulement des terres livrées à la culture, soit dans les lieux fréquentés par des troupeaux de bêtes à cornes.

Elle est formée de piquets de $1^m,80$ de longueur sur $0^m,08$ à $0^m,09$ d'équar-

rissage, espacés de 2 mètres dans le premier cas et de 1m,75 dans le second, et réunis par deux cours de lisses de 3 à 4 centimètres d'épaisseur sur 0m,10 à 0m,12 de hauteur (fig. 109).

Les piquets sont affûtés à leur partie inférieure sur 0m,25 de longueur et enfoncés en terre de 0m,50 à 0m,60. Les lisses taillées en biseau à leurs extrémités, se recouvrent sur une longueur de 0m,15. On les réunit, soit par deux pointes rivées, soit par des liens en fil de fer, et on les fixe à chaque piquet par des pointes de 0m,08 à 0m,10 de longueur.

Dans les forêts fréquentées par des troupeaux de moutons, les piquets sont encore espacés de 2 mètres, mais ils portent trois cours de lisses, les deux cours inférieurs n'ayant que 0m,05 à 0m,06 de largeur (fig. 110).

Fig. 109.—Clôtures à deux lisses (Midi) 1/100.

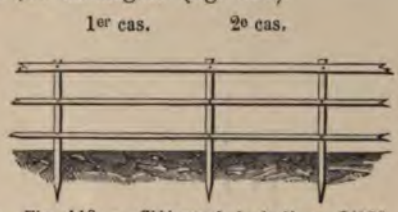


Fig. 110. — Clôtures à trois lisses 1/100.

Aux abords des stations et quand la ligne est bordée par des chemins, la clôture conserve encore trois lisses, mais les piquets ne sont plus espacés que de 1m,50 d'axe en axe.

Enfin, sur certains points très fréquentés, les deux cours de lisses inférieures sont réunis par des échalas de 0m,75 de hauteur, 0m,03 à 0m,04 de largeur 0m,02 à 0m,03 d'épaisseur, distants les uns des autres de 0m,20 d'axe en axe (fig. 111).

Fig. 111.
Clôtures à trois lisses avec échalas 1/100.

Voici quel était le prix du mètre courant de ces clôtures :

N° 1. —	Deux lisses	avec piquets	à 2 mètres	d'écartement.		0fr48
N° 2. —	»	»	»	1m75	»	0.53
N° 3. —	Trois	»	»	2 mètres	»	0.53
N° 4. —	»	»	»	1m50	»	0.60
N° 5. —	»	» av. lattes et piq.		2 mètres	»	0.74
N° 6. —	»	»	» »	1m50	»	0.83

Les bois des piquets et lisses étant fournis à l'entrepreneur, la Compagnie lui payait pour transport, fourniture et pose des clôtures ci-dessus, les prix suivants :

N° 1	0fr15	N° 4	0fr22
2	0.18	5	0.41
3	0.20	6	0.45

L'entrepreneur était chargé de l'entretien des clôtures sèches et des haies vives pendant un délai de dix ans ; il devait les maintenir constamment en bon état ; quand les haies avaient atteint une hauteur minima de 1 mètre et une épaisseur de 0m,30, l'entreprise avait le droit d'enlever les clôtures sèches correspondant à ces parties de haies, pour en employer les matériaux à l'entretien des autres clôtures sèches. Il devait à toute réquisition et dans les quarante-huit heures, réparer toute brèche de clôtures produite par une cause quelconque.

Les clôtures à trois lisses de la Compagnie de l'Est sont formées au moyen de piquets ayant une longueur de 1m,70 et une section circulaire, demi-circulaire ou triangulaire, de 0m,21 de périmètre moyen, et de lisses de 2m,70 de longueur minima sur 0m,04 à 0m,05 de largeur et 0m,02 d'épaisseur. Les essences de bois autorisées sont : le chêne, le châtaignier ou l'acacia.

Les piquets affûtés et durcis au feu sont enfoncés à la masse, sur une longueur de 0m,60 dans la terre, avec un écartement de 1m,30 d'axe en axe.

Les lisses, reliées entre elles et aux piquets par du fil de fer n° 7 (1mm,2), sont de plus fixées par un clou à chacune de leurs intersections entre elles et avec les piquets. La lisse inférieure est à 0m,155 du sol, la deuxième à 0m,355 de la précédente et la lisse supérieure à 1 mètre du sol (fig. 112).

Fig. 112.— Clôture à trois lisses (Est) 1/100.

Fig. 113.— Clôture à trois lisses (Est) 1/100.

Sur certaines sections, la lisse inférieure était placée à 0m,30 du sol, la lisse supérieure à 1 mètre et la troisième à égale distance des deux autres (fig. 113). Nous préférons cette dernière disposition parce qu'elle oppose plus de difficulté à l'introduction sur la voie et se trouve moins exposée à la rupture.

Le prix payé aux divers entrepreneurs a varié pour ces clôtures entre 0 fr. 45 et 0 fr. 57 par mètre courant. Les clôtures à trois lisses de la section d'Epinal à Aillevillers (Est), établies avec piquets en chêne et lisses en châtaignier refendu, ont coûté 0 fr. 42 le mètre courant. Ces prix comprenaient

l'entretien et les réparations pendant le délai de garantie fixé à un an après la réception provisoire. L'entreprise des clôtures sèches était séparée de celle des haies vives.

98. — B. Clôtures en fil de fer. — Sur quelques chemins, notamment sur la ligne de Paris à Strasbourg, on a employé, dans les endroits peu fréquentés, les clôtures en fil de fer, composées de quatre rangs de fil de fer tendus horizontalement par des roidisseurs et soutenus par des poteaux et des crampons. Les points d'attache sont pris sur des chevrons distants de 250 mètres les uns des autres et formés par deux liens inclinés à 45 degrés, de même grosseur que les poteaux ordinaires. Toutes ces pièces sont en bois de chêne de $0^m,060$ à $0^m,065$, ou en sapin de $0,^m07$ à $0^m,10$ d'équarrissage.

Les poteaux dépassent le sol de $1^m,20$, avec $0^m,50$ à $0^m,60$ de fiche. Le fil de fer est du n° 19 ($3^{mm},9$), le premier rang étant placé à $0^m,30$ du sol et tous les rangs espacés de $0^m,28$. Les couronnes de fil de fer ont une longueur de 100 mètres au minimum ; chaque rang est tendu par un roidisseur et chaque série de roidisseurs se trouve dans le même intervalle entre deux

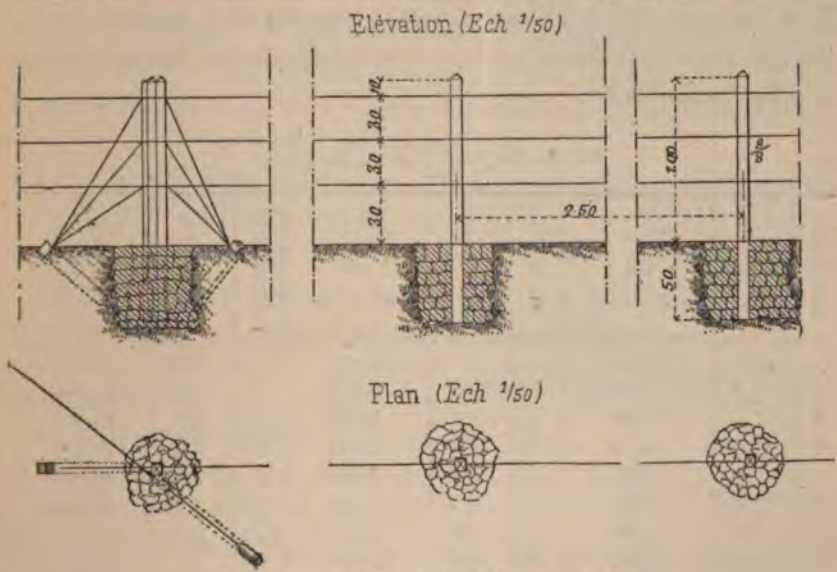


Fig. 114. — Clôtures en fil de fer (Thessalie).

poteaux et sur une ligne à peu près verticale ; on les manœuvre au moyen de clefs. Pour leur donner une résistance et une durée convenables, on fait bien de plonger toutes les pièces en fer dans l'huile bouillante contenant du noir de fumée et de la litharge ; mais la galvanisation est bien préférable et est

plus généralement employée. Le prix de ces clôtures était de 0 fr. 70 le mètre courant ; mais ce prix est aujourd'hui considérablement réduit.

Sur les chemins de fer de Thessalie (Grèce), où la clôture générale de la ligne n'est pas exigée, on a employé comme clôture du pourtour des gares et stations des clôtures en fils de fer galvanisé de 4 millimètres avec supports distants de 2^{m},50 (fig. 114).

Ces clôtures sont très solides, d'un entretien facile et peu coûteux, sauf toutefois celui des piquets en sapin, qui sont de courte durée. Leur principal inconvénient est de ne pas offrir assez de surface apparente.

99. — C. **Clôtures mixtes.** — On a remédié à ce dernier inconvénient en remplaçant les deux rangs supérieurs de fil de fer par une lisse en bois. Le chemin de fer de l'Est emploie ce système de clôture de préférence aux haies vives dont l'entretien est plus coûteux. Le prix d'établissement de ce système de clôtures mixtes, bois et fil de fer, qui devient ainsi une clôture définitive est de 0 fr. 31 le mètre courant.

Les fils de fer du commerce se distinguent ordinairement par leur numéro. Nous indiquons dans le tableau suivant le diamètre et le poids, d'après la jauge de Paris, des numéros employés le plus fréquemment dans la construction des chemins de fer.

Fil de fer. — Jauge de Paris.

NUMÉROS	DIAMÈTRE	POIDS par 100 mètres	NUMÉROS	DIAMÈTRE	POIDS par 100 mètres	NUMÉROS	DIAMÈTRE	POIDS par 100 mètres
	m/m	kilogr.		m/m	kilogr.		m/m	kilogr.
5	1,0	0,612	14	2,2	2,962	23	5,9	21,300
6	1,1	0,740	15	2,4	3,525	24	6,4	25,063
7	1,2	0,881	16	2,7	4,461	25	7,0	29,983
8	1,3	1,034	17	3,0	5,507	26	7,6	35,343
9	1,4	1,199	18	3,4	7,074	27	8,2	41,144
10	1,5	1,397	19	3,9	9,307	28	8,8	47,386
11	1,6	1,566	20	4,4	11,846	29	9,4	54,607
12	1,8	1,983	21	4,9	14,692	30	10.0	61,199
13	2,0	2,448	22	5,4	17,843			

On fabrique aussi des fils en fer tordu munis de pointes-épines qui tiennent les animaux éloignés, ont ainsi une durée plus grande et s'opposent plus

complètement à toute escalade. Ce genre de clôtures est cependant peu employé par les Compagnies de Chemins de fer en raison de son prix élevé.

100. — D. **Clôtures en échalas.** — Le système de clôtures en échalas se rencontre le plus ordinairement sur les chemins de fer français; mais avec différents modes d'application. Au chemin de fer d'Orléans la clôture est composée d'échalas ou lattes de $1^m,50$ de longueur sur $0^m,04$ de largeur et $0^m,02$ d'épaisseur, serrés à $0^m,15$ de leur tête entre deux lisses de même équarrissage (fig. 115).

Fig. 115.— Clôture en échalas (Orléans) 1/50.

Les échalas pénètrent de $0^m,45$ dans le sol, les lisses étant tenues à $0^m,90$ de la surface : on compte sept échalas par mètre courant.

Les clôtures en échalas employées sur les chemins de fer de l'Est dans la traversée des lieux habités, aux abords des stations, des passages à niveau, des ouvrages d'art, des routes et chemins, se composent de piquets distants de $1^m,50$ d'axe en axe; leur tête recépée s'élevant à $1^m,10$ au-dessus du sol. Ils sont réunis par deux rangs de lisses horizontales placées à $0^m,20$ et $1^m,05$ du sol, contre lesquelles on fixe les échalas espacés de $0^m,11$ d'axe en axe (fig. 116). Les piquets ont les mêmes dimensions que ceux des clôtures à lisses. Les lisses de 0 ,32 sur $0^m,12$ se recouvrent, par leurs abouts aplatis sur $0^m,12$ au moins. Leur longueur doit être telle que chaque lisse rencontre, toujours deux piquets.

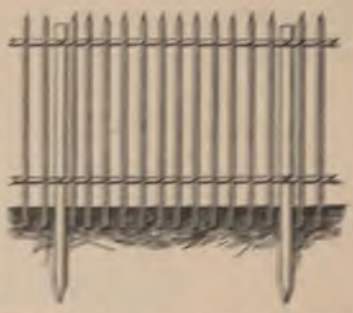


Fig. 116.—Clôture en échalas (Est) 1/50.

Les échalas, au nombre de 12 entre deux piquets, ont une longueur de $1^m,75$ et un périmètre de section de $0^m,08$. L'extrémité supérieure est appointée; l'autre préalablement durcie au feu, est engagée de $0^m,15$ dans le sol.

Les attaches des bois se font avec du fil de fer n° 7 ($1^{mm},2$) galvanisé; celles des lisses sur les piquets par quatre tours au moins; celles des lisses entre elles par plusieurs tours, et enfin celles des échalas sur les lisses par deux embrasses à double tour. Les nœuds doivent être très serrés et porter plus d'un tour.

Les prix des clôtures en échalas étaient de 0fr.,66 par mètre courant pour premier établissement et de 0fr.,03 pour entretien pendant la première année.

Dans ces clôtures, on ne devait employer que le bois de chêne pour les piquets, le chêne, le châtaignier ou l'acacia pour les autres pièces ; les lattes et traverses étant prises dans le cœur du bois bien fendu de fil et les piquets purgés d'écorce.

101. — E. **Clôtures en treillage.** — Les clôtures ainsi désignées sont formées de lattes verticales reliées par quatre cordons de fil de fer et fixées sur un cadre composé de deux piquets et de deux lisses horizontales.

Les piquets sont distants de $1^m,20$ à $1^m,25$ d'axe en axe, la lisse inférieure, posée de champ, se trouve à $0^m,13$ de hauteur, la lisse supérieure, posée à plat sur la tête des piquets, à $1^m,10$ au-dessus du sol. L'espacement des lattes composant le treillage est variable. On l'a tenu, à l'origine, à $0^m,050$ dans œuvre en moyenne, de manière à faire entrer 12 $\frac{1}{2}$ lattes par mètre. (Creil à Saint-Quentin, Paris à Vincennes). Aujourd'hui, on les range à $0^m,095$ dans œuvre au nombre de 8 par mètre courant (fig. 117).

Les lattes portent $1^m,20$ de hauteur, 10 millimètres d'épaisseur et 25 à 30 millimètres de largeur ; elles sont appointées dans le haut.

Les cordons qui les relient doivent être très droits ; ils se composent de deux fils de fer numéro 12 ($1^{mm},8$), dans l'intervalle qui sépare les lattes, les fils sont tressés suivant un nombre de tours (8 à 10) suffisant pour que les

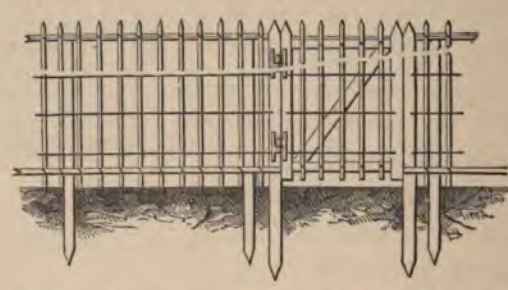


Fig. 117. — Clôtures en treillage avec portillon (Nord) 1/50.

lattes soient fortement serrées. Le premier cordon se trouve à $0^m,25$ du bas du treillage ; tous les autres sont distants entre eux de la même quantité.

Le fabricant livre les treillages par rouleaux de 10 mètres de longueur.

Les piquets ont $1^m,60$ de largeur, $0^m,180$ à $0^m,210$ de périmètre de section ; leur pied est affûté et carbonisé. On les enfonce en terre, à la masse, sur une

profondeur de $0^m,60$. La tête reçoit la lisse supérieure que l'on fixe par un clou. Les lisses ont pour dimensions : $2^m,50$ de longueur en moyenne (2 mètres au minimum) $0^m,027$ à $0^m,033$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur ; elles se recouvrent sur $0^m,10$ à leurs abouts.

Les lisses et lattes sont en bois de châtaignier, les piquets en bois de la même essence ou de chêne, ou enfin en bois préparé. Plusieurs Compagnies de chemins de fer utilisent, pour cet objet le bois provenant des vieilles traverses retirées de la voie.

Le treillage déroulé est attaché d'abord à chaque piquet, au moyen de trois clous, ensuite aux lisses horizontales par des embrasses en fil de fer n° 8 ($1^{mm},3$), au nombre de 5 entre deux poteaux et sur chaque lisse, le nœud très serré et portant plus d'un tour. Les assemblages des abouts des lisses entre eux se font également par deux liens de fil de fer n° 8, ayant plus d'un tour.

Sur la ligne de Creil à Saint-Quentin, les lattes verticales étaient réunies par cinq rangs de fil de fer, et pénétraient de $0^m,10$ à $0^m,20$ dans le sol, a lisse supérieure étant supprimée. On a reconnu que cette disposition laisse à désirer au point de vue de l'entretien ; on s'est donc arrêté au système décrit plus haut.

Le prix de ces clôtures a varié depuis plusieurs années, ainsi la Compagnie du Nord français a payé en 1847, les treillages de la section de Creil à Saint-Quentin à raison de $1^{fr.},24$ par mètre courant, y compris la garantie et l'entretien pendant un an.

Les Chemins de fer de l'Est ont fait poser, en 1855, les clôtures en treillage de la ligne de Vincennes au prix de 1 franc le mètre courant.

Pour les travaux d'entretien des clôtures sur les lignes en exploitation, la Compagnie du Nord achète les treillages avec les lisses correspondantes au prix de. .	0fr.46
En y ajoutant le prix du piquet qui est de $0^{fr.},20$ pour $1^m,25$, soit par mètre.	0 ,16
Pose et entretien pendant un an	0 ,22
On arrive au prix total, par mètre courant, de .	0fr.84

A ces conditions, les clôtures en treillage qui offrent le plus de garantie u point de vue de la sécurité, ne reviennent pas à un prix trop élevé.

La longueur développée des clôtures des deux côtés de la voie varie entre 2.200 et 2.400 mètres par kilomètre de ligne le prix de la clôture serait donc compris entre 1.870 et 2.400 francs par kilomètre. Sur les lignes peu acci-

dentées, on peut admettre une dépense moyenne de 2.000 francs par kilomètre.

Les clôtures provisoires des chemins de fer prussiens, en Westphalie, consistent en piquets de $0^m,05$ à $0^m,08$ de diamètre espacés de $1^m,25$ d'axe en axe; l'intervalle est rempli par un latice en bois de brin de $0^m,02$ à $0^m,03$ de diamètre environ, réunis par deux rangs, de fil de fer de $2^{mm},4$ de diamètre, placés à $0^m,40$ et $0^m,80$ du sol (fig. 118).

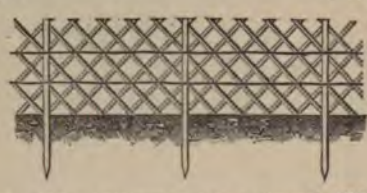


Fig. 118.—Clôture en latice (Prusse) 1/100.

Les piquets de $1^m,95$ de longueur, enfoncés en terre de $0^m,75$ s'élèvent, ainsi que le latice, à $1^m;20$ au-dessus du sol. Les attaches du latice aux cordons de fil de fer, sont faites avec du fil de fer de $0^{mm},8$ de diamètre.

Le prix de la clôture par mètre courant peut s'établir comme suit :

Piquet $\frac{1^m,00}{1^m,25} \times 0,20$	$0^{fr}20$
Bois de brin pour latice 17 à 0,04. . . .	0.68
Fil de fer n° 15, $0^{kg},352$ à 0,25	0.09
» n° 3, 0 ,060 à 0,50	0.03
Main-d'œuvre	0.30
Total pour un mètre courant	$1^{fr}30$

A ce prix, les clôtures pour voie courante seraient trop coûteuses, mais pour certaines stations, elles seraient parfaitement suffisantes, en attendant la venue des haies vives.

L'Administration des chemins de fer de Thuringe et de Westphalie, en traitant avec les propriétaires riverains pour l'exécution et l'entretien des clôtures sèches et vives séparant leur domaine de celui du chemin de fer, réalisait sur ce prix une économie de 25 %, ce qui ramenait le prix de la clôture à 1 franc le mètre courant.

Il y aurait probablement un certain intérêt à introduire des dispositions analogues dans les localités où les Compagnies de chemins de fer sont exposées à de fréquentes réclamations soulevées par des voisins, pour insuffisance de clôtures (91).

102. — Clôtures de stations. — Aux abords des stations, autour des cours, entre la voie et les chemins contigus, les clôtures doivent être, en général, plus solides que celles de la voie courante. Le type de ces clôtures peut cependant varier suivant leur destination et la fréquentation des chemins et des stations.

On emploie avec avantage les traverses en bois retirées de la voie et taillées en pointe à l'extrémité supérieure. Cette clôture est très solide, très résistante et ne coûte guère que la main-d'œuvre ; il est vrai qu'elle est loin d'être élégante, aussi ne l'emploie-t-on qu'aux stations de peu d'importance et de préférence pour clore les cours aux marchandises et autres dépendances.

La Compagnie des Chemins de fer du Nord a construit les clôtures de stations en bois injecté, disposées comme le montre la figure 119. Elles sont formées de poteaux de 0,08 × 0,08 d'équarrissage sur 2 mètres de longueur s'élevant à $1^m,30$ au-dessus du sol et fondés avec semelle et contre-fiches. Ces poteaux, distants de deux mètres d'axe en axe, sont réunis par trois rangs de traverses horizontales de $0^m,08 \times 0^m,02$ à $0^m,11$, $0^m,59$ et $1^m,07$ du sol. Sur ces traverses, on cloue des lames et $0^m,05 \times 0^m,01$ au nombre de 18 entre deux poteaux consécutifs. La traverse supérieure est doublée sur toute sa longueur ; les deux autres le sont seulement vis-à-vis des poteaux sur une longueur de $0^m,50$ environ.

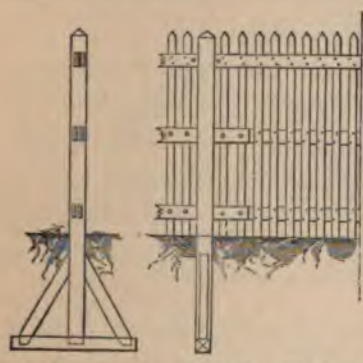


Fig. 119. — Clôture de station (Nord) 1/50.

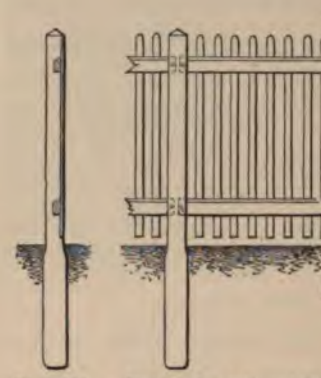


Fig. 120.— Clôture de station 1/50.

Les lames verticales ont $1^m,35$ de longueur, pénètrent de $0^m,05$ dans le sol, et sont, ainsi que les poteaux, taillées en pointe à leur extrémité supérieure. Ces clôtures sont compliquées et coûteuses.

En 1861, elles ont été payées 4 fr.,25 par mètre courant, ce prix comprenant : la fourniture, la confection, la peinture, les boulons, le transport à la gare, les frais de vérification, d'épreuves, d'empilage, etc. En 1862, sur la section de Namur à Givet, le prix s'est élevé à 5 fr.,25, comprenant la fourniture, la façon et le transport sur place.

Sur la ligne de Wissembourg, les clôtures de stations présentent la disposition indiquée par la figure 120. Le prix de revient d'une travée de 2 mètres s'établissait de la manière suivante :

INDICATION DES OUVRAGES	QUANTITÉS	PRIX de l'unité	DÉPENSES
Déblais et remblais de terre . . .	0^{m3},30	1^{fr},00	0^{fr},30
Remplissage en maçonnerie sèche .	0 ,21	11 ,00	2 ,31
Charpente en chêne raboté à vives arrêtes.	0 ,03	89 ,00	2 ,67
Menuiserie en chêne de 0^{m},041 d'épaisseur.	0^{m2},36	8 .00	2 ,88
Lattes en sapine de 47 sur 22 . .	17^{m},25	0 ,15	2 ,59
Peinture à l'huile en 3 couches . .	4^{m2},80	1 ,00	4 ,80
Transport à pied d'œuvre et pose. .	. . . . .	. . . . .	3 ,00
Total. . .	. . . . .	. . . . .	18^{fr},55

Dépense pour un mètre courant 9 fr. 27.

Sous le rapport du prix, ce mode de construction n'est pas à recommander.

On construit d'ailleurs les clôtures de stations d'après des types dont l'élégance est proportionnée à la position et à l'importance des localités. Les chemins allemands et suisses offrent une grande variété de clôtures de stations plus ou moins compliquées. Nous donnons ci-dessus un type de clôtures qui a été appliqué sur différentes lignes d'importance secondaire, notamment en Thessalie (fig. 114).

En général, il vaut mieux donner la préférence aux systèmes les plus économiques. C'est dans ce but qu'aux chemins de fer de l'Est on emploie, depuis quelque temps, des clôtures de stations formées simplement d'un treillage de lattes croisées, cloué sur des poteaux, et maintenu, haut et bas, par deux lattes parallèles. Toutes ces lattes sont débitées dans les déchets de traverses, préparées par le procédé Boucherie. Comme le bois préparé se déforme beaucoup en desséchant, on est obligé pour construire le treillage, d'établir un chantier formé d'une aire en madriers, sur laquelle on cloue des planchettes ayant la forme de losanges et espacées de façon à reproduire en creux la disposition d'une travée du treillage. Les lattes sont alors appliquées dans les rainures qui les forcent à prendre une direction convenable et on peut les clouer de manière à obtenir un treillage régulier. Pour ne pas perdre de bois, on prend ordinairement pour longueur des lattes, la moitié de celle des traverses; on fait varier l'inclinaison des latices d'après la hauteur qu'il s'agit de donner

au treillage, en évitant ainsi de découper des bouts qui ne pourraient être employés.

Cette application des déchets permet de faire des clôtures dont le prix ne dépasse pas 2 francs par mètre courant.

Sur les chemins prussiens, le réseau des voies et les quais sont enfermés dans une haute palissade, tandis que le reste du terrain de la station est entouré par une simple clôture à lattes. Dans l'intérieur des stations et à côté des quais, on place d'autres clôtures ordinairement en latice.

I.— La figure 121 représente une clôture en palissades de $1^m,884$ de haut, avec

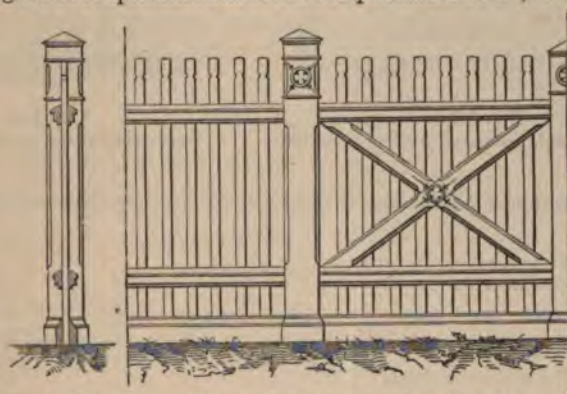


Fig. 121. — Clôture de station en palissades 1/50.

une porte à deux vantaux de $3^m,75$ d'ouverture. Ces clôtures, employées pour les stations importantes, sont très résistantes, mais aussi d'un prix assez élevé.

On peut évaluer comme suit le prix du mètre courant :

Bois	$5^{fr}74$	
Main-d'œuvre	2.75	
Peinture	3.08	
Clous, etc.	0.43	
Un mètre courant . . .	$12^{fr}00$	
Grande porte de 7^m50 . .		
Bois, etc.	$56^{fr}25$	
Ferrures, 120 kilog.	93.75	
Total	$150^{fr}00$	
Porte de 3^m75 (fig. 121)		45 fr.
Petite porte de 1^m60		15 fr.

II. — Clôtures à lisses (fig. 122).

Bois	$1^{fr}92$
Main-d'œuvre	0.62
Peinture	0.92
Clous, etc.	0.20
Un mètre courant	$3^{fr}66$

Porte de 3m,75 en latice.		11fr25
Porte de 1m25 (fig. 122)	Bois	1.75
	Peinture	1.25
	Ferrures	2.63
	Total.	5fr63

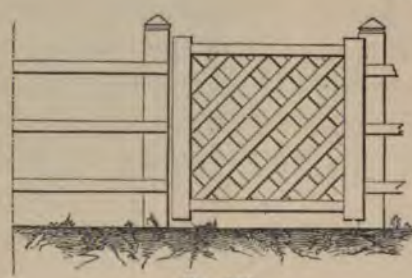


Fig. 122.
Clôture intérieure à lisses avec porte en latice 1/50.

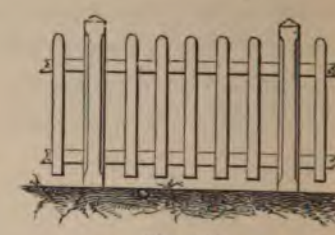


Fig. 123.
Clôture intérieure en lattes 1/50.

III. — Clôtures en palissades de 0m,95, dans l'intérieur des stations (fig. 123).

Bois.	1fr30
Main-d'œuvre.	0.85
Peinture.	1.35
Clous, etc	0.25
Un mètre courant.	3.75
Porte ordinaire en lattes	7fr50

Nous avons déjà parlé d'un système de clôtures à lisses employé sur le chemin du Midi, aux abords des stations et le long des routes parallèles à la voie.

Il arrive souvent qu'un chemin ou une route nationale très fréquentée passe entre le chemin de fer et une rivière.

Quelque habitués qu'ils puissent être au bruit des trains, lorsque les chevaux se trouvent en quelque sorte face à face avec une locomotive, ils se cabrent, reculent et quelquefois s'emportent ; plusieurs accidents n'ont pas eu d'autres causes. Il serait prudent d'établir dans ces endroits, des clôtures en palissades opaques, résistantes et plus élevées que les clôtures ordinaires ; par exemple des cloisons en planches, placées en dedans des clôtures du chemin, qui pourraient être construites avec lisses solides, et assez élevées pour que les chevaux ne puissent pas les franchir.

Sur les chemins prussiens, aux abords des stations et à la séparation de la ligne et des chemins latéraux, on emploie des clôtures très résistantes disposées comme le montre la figure 124.

Elles sont composées de poteaux en chêne de 0m,13 × 0m,13 d'équarrissage et 1m,85 de longueur, espacés d'environ 1m,875 d'axe en axe. Ces poteaux sont

réunis à la partie supérieure par une main courante formée de madriers en sapin de $0^m,10 \times 0^m,13$ d'équarrissage, de $3^m,75$ de longueur, assemblés bout à bout à trait de Jupiter. Les assemblages se trouvent au-dessus des poteaux de deux en deux, et sont consolidés au moyen d'un étrier en fer. Vers le milieu de la hauteur de la clôture, les poteaux sont encore réunis par un cours de lisses en sapin, formé de petits madriers encastrés, de $0^m,08 \times 0^m,08$ d'équarrissage.

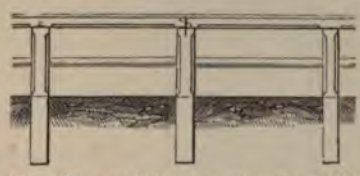


Fig. 124. — Clôture garde-corps 1/100.

On peut établir de la manière suivante le prix d'un mètre courant de clôtures de cette espèce :

Matériaux

Poteaux $\left(\frac{1}{1,875}\right)$ (1.85 × 0,13 × 0,13) à 65 francs.	= 1fr08
Main-courante (1.00 × 0,10 × 0,13) à 45 francs.	= 0.59
Lisse inférieure (1.00 × 0,08 × 0,08) à 45 francs.	= 0.29

Main-d'œuvre

Poteaux, main-courante, lisse, assemblages, rabotage, abatage des arêtes, carbonisation des parties enterrées, pose 2^m533 à 0 fr. 40. . .	= 1.01
Peinture à l'huile, trois couches 0,90 à 1 franc.	= 0.90
	3.87
Faux-frais et bénéfices, environ 10 %	= 0.38
Prix d'un mètre courant	= 4.25

Sur certains points, dans les villes importantes par exemple, les cours de stations sont entourées de grilles. Leurs dispositions peuvent varier à l'infini; ces grilles sont payées au poids.

Voici quels sont les poids des différentes parties de la grille de clôture de la gare de Strasbourg à Paris.

Il entre dans 1 mètre courant de grille :

Gros fers.	60k220
Fers de sujétion.	15.630
Fonte pour les montants	20.000
Fonte pour les rosaces et lances. .	20.000

Dans les portes de 4 mètres et de $5^m,17$, on compte :

	4 m00	5m17
Gros fers pour les lisses, barreaux et montants sans paumelles.	359k350	463k880
Fers de sujétion pour boulons, grosses vis, montants portant paumelles et lisses additionnelles . . .	361.450	396.980
Fonte pour crapaudines	33.000	33.000
Fonte pour lances et rosaces	110.250	147.110

Dans certains pays métallurgiques on a essayé des clôtures en tôle ondulée supportée par des montants en fer cornière ou profilés. Les prix élevés de ces clôtures ont limité leur emploi.

103. — Zone de garantie. — Cette dénomination s'applique à une bande de terrain *ab* située au-delà des arêtes des talus du chemin de fer, et qui est destinée tantôt à l'établissement de fossés extérieurs (22 et 32), tantôt à l'établissement des clôtures. La largeur de cette zone varie donc avec sa destination (fig. 293).

S'il s'agit du cas d'un fossé, cette largeur se décompose ainsi en partant de l'arête du talus :

Berme.	0^m60 à 1^m00
Largeur du fossé en gueule	0 70 à 1 00
De l'arête du fossé à la ligne des bornes.	0 20 à 0 50
Largeur totale.	1^m50 à 2^m50

Quand on n'est pas obligé de ménager un fossé protecteur, la zone de garantie est limitée à la largeur nécessaire à l'entretien des haies vives et à leur protection. Alors sa largeur est ramenée à $1^m,50$ et même à 1 mètre.

Enfin, quand on n'est pas obligé de poser des clôtures, cette zone de garantie peut être réduite à $0^m,50$ de largeur, et même dans le cas d'un chemin de faible importance, on pourrait s'en passer totalement sur les parties de la ligne où les terrains sont chers.

En temps de crues ces fossés latéraux déchargent souvent une grande quantité d'eau et il s'y produit alors des courants plus ou moins violents. Lorsque ces fossés ont une certaine pente et une assez grande longueur il est bon d'établir des barrages de distance en distance pour rejeter les eaux sous les ouvrages courants de la ligne.

104. — Bornage. — Comme toute propriété importante il est indispensable que le domaine du chemin de fer soit parfaitement délimité et à l'abri de tout envahissement de la part des propriétaires riverains ; aussi, dès que les travaux de construction sont achevés, il faut procéder au *bornage*, ensemble des opérations qui ont pour but de fixer les limites des terrains appartenant au chemin de fer.

Ces opérations doivent se faire contradictoirement et en présence des intéressés. Pour éviter tout malentendu, toute contestation, la Compagnie du chemin de fer de Lyon à Genève, d'accord avec l'Administration supérieure avait adopté le procédé suivant :

Affichage spécial; publications dans les journaux; avertissement distinct donné à chaque propriétaire; institution dans chaque commune d'une commission spéciale de trois membres de la municipalité, à l'effet d'entendre les observations, de recueillir les signatures des adhérents ou de constater l'absence des intéressés; installation d'un géomètre chargé d'exécuter toutes les opérations du bornage et de suivre l'accomplissement de toutes les prescriptions administratives et réglementaires y relatives.

Malgré toutes ces mesures, le bornage contradictoire a été jusqu'ici d'une application impossible. On peut difficilement obtenir des propriétaires riverains qu'ils viennent en signer le procès-verbal, et le Conseil général des Ponts et Chaussées, par un avis en date du 30 juin 1864 a proposé de renoncer à cette prescription.

Il faut dresser, par commune, un procès-verbal de bornage annexé au plan cadastral indiquant : les limites de toute nature, les bornes, haies, clôtures, bâtiments, ouvrages d'art, poteaux indicateurs, chemins, etc.; les cantons et *lieux dits*, le nom des propriétaires riverains.

La délimitation étant parfaitement arrêtée et formée par une série d'alignements droits, on place des bornes en pierre sur la limite séparative des terrains du chemin de fer à chaque division parcellaire. On fait suivre souvent cette ligne de démarcation par le développement des clôtures sèches qui se trouvent ainsi à $0^m,50$ au moins de l'axe des haies vives ordinairement parallèle.

Mais cette disposition présente des inconvénients. A l'époque des labours, les clôtures sèches sont détruites par les attelages des charrues. Il vaudrait mieux poser les clôtures sèches à l'intérieur de la ligne des bornes et non pas comme l'indique la figure 125.

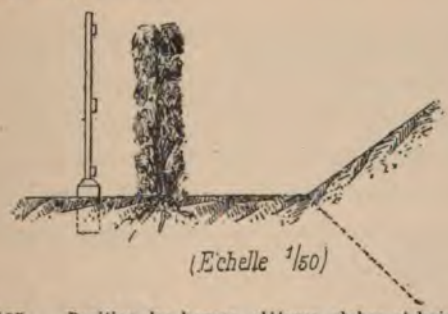


Fig. 125. — Position des bornes, clôtures sèches et haies vives 1/50.

Dans le cas de chemin secondaire, on pourrait simplement poser les bornes à $0^m,10$ de l'arête du talus (103).

Les bornes doivent être débitées dans une pierre de très bonne qualité, dure,

non gélive surtout, pouvant résister aux influences atmosphériques et aux chocs des instruments aratoires; on leur donne une forme prismatique ou pyramidale ayant une section de $0^m,20$ de côté, une longueur de $0^m,50$ à $0^m,60$ dont $0^m,30$ à $0^m,40$ d'enfoncement dans le sol. La tête apparente porte un signe distinctif et uniforme.

Le prix de ces bornes peut varier entre 1 fr. 25 et 2 francs selon la localité.

Afin de prévenir et d'arrêter les empiètements des voisins, les agents du service de la voie doivent porter une attention soutenue sur l'état et la position des bornes; faire reposer celles qui auraient été déplacées ou enlevées, et remplacer les pierres avariées.

Les plans cadastraux seront constamment tenus au courant de tous les changements qui surviendraient dans les limites du domaine, par suite des travaux qui pourraient être effectués après l'établissement des plans du bornage primitif.

On pourra vérifier, à l'occasion du dressement de ces plans, si les mutations à la matrice cadastrale et aux bureaux de perception ont été effectuées; enfin, on prendra toutes les mesures nécessaires pour assurer à l'Administration du chemin de fer la libre et complète jouissance des terrains qui sont devenus sa propriété.

§ III.

Barrières de passages à niveau.

105. — Conditions générales. — Le tracé d'une ligne de chemin de fer rencontre les routes existantes qu'il traverse quelquefois à niveau, d'où la dénomination de passages à niveau. Dans l'étude du profil en long d'une ligne projetée on doit distinguer, s'il s'agit d'un chemin de fer à grand trafic destiné à mettre en mouvement de nombreux trains dont quelques-uns à grande vitesse ou bien d'une ligne à faible trafic n'ayant qu'un nombre restreint de trains animés d'une faible vitesse.

Dans le premier cas on doit rechercher si certains remaniements du profil en long ne permettraient pas la suppression des passages à niveau et leur remplacement par des passages supérieurs ou inférieurs.

C'est surtout aux abords des villes que les passages à niveau présentent de réels inconvénients. A Paris, à la suite de nombreux accidents et des récla-

mations du public, le chemin de fer de Ceinture qui traversait plusieurs voies importantes à niveau a dû modifier son tracé sur presque tout son parcours afin de supprimer complètement les passages à niveau.

Nous devons ajouter que souvent, sur une voie en construction l'établissement de passages supérieurs ou inférieurs au lieu et place de passages à niveau n'entraîne pas à une dépense plus élevée, si on tient compte du capital représenté par les frais de gardiennage.

S'il s'agit au contraire de lignes secondaires coupant des routes peu fréquentées, les conditions locales peuvent faire adopter la construction de passages à niveau gardés à peu de frais ou même non gardés.

Suivant l'importance des chemins rencontrés par la voie ferrée on établit des barrières de types très divers et de prix très différents.

Dans certains pays, où il s'agit de routes peu fréquentées, on n'exige pas que les passages soient gardés et protégés par une barrière, souvent on place une simple chaîne que tout passant peut manœuvrer ou bien un simple poteau indicateur et qui sert plutôt de garantie morale.

Il n'existe pour l'établissement des barrières aucun type uniforme. Sur la plupart des lignes, on a adopté des barrières en palissades, à un ou deux vantaux ouvrant tantôt vers la voie, mais à une certaine distance du rail, tantôt du côté de la route ; sur d'autres, mais c'est l'exception, les barrières ouvertes franchissent les rails de manière à clore complètement la voie et à empêcher l'introduction des animaux.

On paraît donner la préférence sur les voies très fréquentées au système de barrières simples se manœuvrant parallèlement aux rails avec une grande facilité.

Les populations des contrées traversées supportent avec impatience les entraves apportées à la circulation par la fermeture des barrières, et souvent à la suite d'accidents ou simplement sous la pression de l'opinion publique les compagnies ont été amenées, ainsi que nous le disons plus haut, à transformer certains passages à niveau à grande fréquentation en passages supérieurs ou inférieurs.

Quand le service est réglé de telle sorte que la traversée du passage à niveau n'a lieu pour les voitures ou bestiaux qu'avec l'autorisation du garde, on accole à la barrière un tourniquet ou portillon en palissades avec double ou simple battant.

Ce portillon livre passage aux piétons tout en étant disposé de manière à empêcher l'entrée des animaux sur la voie.

La distance à laquelle il est d'usage de placer les barrières, à partir du rail

extérieur, est très variable sur les divers chemins de fer, notamment lorsque le croisement a lieu sous un angle plus ou moins aigu. Cette distance ne saurait sans inconvénient descendre au-dessous de $1^m,50$ pour le point de la barrière le plus rapproché du rail, de manière que les vantaux étant ouverts ou fermés, il reste toujours entre le rail et la barrière une zone libre de même largeur que celle réservée ordinairement entre le rail extérieur et les culées des ouvrages d'art.

Sur quelques lignes la règle est de placer les barrières à deux vantaux à $3^m,50$ du rail extérieur pour les passages de 4 mètres, et à $4^m,50$ pour le passage de 6 mètres; les vantaux s'ouvrent vers la voie, de sorte que, le passage ouvert, ils laissent entre eux et le rail extérieur un espace libre de $1^m,50$.

Sur les chemins allemands, les objets élevés d'un pied ($0^m,314$) au plus au-dessus des rails doivent se trouver à 5 pieds 3 pouces ($1^m,65$) au moins de l'axe de la voie la plus rapprochée et les objets d'une plus grande hauteur à 6 pieds 3 pouces ($1^m,96$). La distance des barrières fermées à l'axe de la voie la plus rapprochée doit être d'au moins 12 pieds ($3^m,77$).

Les barrières à pivot s'ouvrant sur la voie doivent remplir les conditions précédentes.

La largeur des barrières est généralement proportionnée à la largeur des routes. Il arrive cependant que des chemins très fréquentés, des chemins vicinaux, par exemple, exigent des barrières plus larges que des routes départementales où la circulation est peu active.

Pour les chemins obliques par rapport à la voie, il est préférable d'établir les barrières normalement à l'axe du chemin, parce que l'on peut leur donner alors l'ouverture des passages droits; mais quand l'espace manque, on les établit parallèlement à la voie; dans ce cas, on est forcé d'adopter des dimensions de barrières plus considérables, car il faut autant que possible conserver au chemin sa largeur normale.

Comme nous l'avons dit plus haut, sur plusieurs chemins de fer, en France, on s'est arrangé de manière à faire ouvrir les barrières intérieurement aux clôtures sur les propriétés de la Compagnie, en réservant la distance de $1^m,50$ entre le vantail et le rail extérieur.

Dans beaucoup de cas l'Etat a facilité l'application de cette mesure en concédant gratuitement aux Compagnies le terrain nécessaire pour éloigner les barrières d'une distance suffisante.

On a reconnu cependant que cette disposition est peu avantageuse, parce qu'elle entraîne toujours la construction et l'entretien d'une plus grande surface de chaussée. De plus, ces barrières ainsi disposées, lorsqu'elles sont impar-

faitement fermées, ne résistent pas toujours aux efforts que peuvent faire les hommes ou les animaux.

Lorsque les vantaux s'ouvrent vers l'extérieur, au contraire, cet inconvénient n'existe plus; mais ils en présentent un autre : celui de ne pouvoir s'ouvrir ou se fermer qu'en faisant reculer un véhicule trop engagé sur la voie transversale, et en obligeant le garde à parcourir plus de chemin.

La figure 65 représente les deux dispositions dont il s'agit. La barrière *a* s'ouvre vers l'extérieur; les vantaux de barrière dans la disposition *b*, au contraire, se développent vers la voie. La première nous semble préférable.

En principe, un type de barrières de passages à niveau doit être disposé pour que la manœuvre en soit aussi facile que possible, l'entretien économique en un mot, d'une construction telle qu'il résiste aux diverses causes d'avaries auxquelles il se trouve forcément soumis.

Le type le plus convenable, à ce dernier point de vue, c'est la barrière en fer roulant parallèlement à la voie ; l'appareil en bois prend un poids considérable quand le passage est large, et sa manœuvre exige un certain effort musculaire.

Au point de vue de la sécurité, la barrière roulante présente aussi le grand avantage de pouvoir être fermée quand bien même un attelage atteint la limite des clôtures. On lui donne donc la préférence quand son application n'est pas trop difficile ou trop coûteuse.

Les ouvertures de barrières correspondant aux différents chemins sont les suivantes :

DÉSIGNATION	CLASSES	LARGEUR des chaussées	OUVERTURE entre les poteaux des barrières pour voitures d'après la fréquentation	PASSAGE des piétons	OBSERVATIONS
		mètres	mètres	mètres	
Routes nationales .	1	6 à 8	6 à 8	0,70	L'ouverture entre les poteaux des barrières correspond généralement à l'ouverture des viaducs en dessous des rails et à la distance des parapets des viaducs en dessus pour les routes de même espèce.
Routes départementales.	2	4 à 6	5 à 7	0,70	
Chemins vicinaux de grande communication	3	3 à 5	4 à 6	0,55 à 0,70	
Chemins ruraux de simple vicinalité.	4	4	4	0,55	
Chemins d'exploitation	5	4	3,60	»	
Sentiers de piétons.	6	1,50	»	0,70	

Sur les chemins suisses les ouvertures des passages à niveau sont toujours égales à la distance entre les parapets des ouvrages d'art correspondant aux mêmes routes :

	DÉSIGNATION	CLASSES	LARGEUR des routes	OUVERTURE des barrières	OBSERVATIONS
1	Grandes routes cantonales. . . .	1	9m,00	7m,20	Dimensions permettant le croisement de 2 voitures lourdes à 2 chevaux.
2		2	8 ,10	4 ,30	Croisement d'une voiture lourde et une ordinaire à 2 chevaux.
3		3	7 ,20	5 ,40	Croisement de 2 voitures ordinaires à 2 chevaux.
4	Routes communales	1	7 ,20	5 ,40	
5		2	6 ,30	4 ,50	Passage d'une voiture à 2 chevaux et d'un piéton.
6		3	5 ,40	3 ,60	Voiture à 1 cheval et 1 piéton.
7	Chemins ruraux. .	1	5 ,40	4 ,50	Voiture à 2 chevaux et 1 piéton.
8		2	4 ,50	3 ,60	Voiture à 1 cheval et 1 piéton.
9		3	3 ,60	2 ,70	Voiture à 1 cheval et 1 charrette à bras.
10	Sentiers	1	2 ,70	2 ,70	
11		2	1 ,80	1 ,80	Porteurs et piétons.
12		3	1 ,80	1 ,50	

106. — Nature et emploi des matériaux. — Les barrières sont quelquefois encore construites en bois, les assemblages consolidés par des ferrures fixées par des vis ou des boulons. Les bois employés le plus fréquemment sont le chêne et le sapin, ce dernier n'étant utilisé que pour les barreaux de remplissage.

Les bois et les fers doivent satisfaire à toutes les conditions de qualité et d'emploi qui ont été indiquées plus haut (65 et 66).

Toutes les parties apparentes des bois devront être débitées à la scie sur les quatre faces, parfaitement droites, sans démaigrissement, ni flâches, ni aubier; pour les parties enterrées, on tolère une courbure qui peut atteindre $\frac{1}{100}$ de la longueur, et des flâches sans aubier sur les arêtes, pourvu qu'elles n'avancent sur aucune face de plus de $\frac{1}{10}$ de la largeur de l'équarrissage.

Dans les terrains solides, les poteaux de barrières sont fondés sur semelles et consolidés par des contre-fiches en chêne; mais dans les terrains peu résistants, les poteaux sont scellés dans une fondation en maçonnerie de moellons ou de briques avec mortier de chaux hydraulique et sable, ou avec plâtre,

suivant les localités; les fouilles sont coupées autant que possible à pic et le fond bien uni. Les remblais autour des maçonneries ou des bois se font par couches de 15 centimètres au plus et fortement pilonnées.

Certaines administrations de chemin de fer en traitant avec un entrepreneur pour l'établissement des barrières se réservent souvent la faculté de fournir à l'entrepreneur les bois pour toutes les pièces en contact avec le sol si elles jugent à propos d'employer des bois préparés (Chapitre VI § I). Elles espèrent avoir ainsi une plus sérieuse garantie de durée.

La portion enterrée du poteau est enduite de goudron minéral après avoir été légèrement carbonisée à la surface. Les peintures des parties en élévation sont composées suivant les indications du cahier des charges (67). La peinture des bois est généralement appliquée en trois couches, la première au minium avant l'assemblage et la pose ; la deuxième et la troisième couches à la céruse teintée d'ocre ou ton de bois, après la mise en place des barrières. Les tenons, mortaises et autres parties des assemblages doivent être soigneusement enduits de peinture.

La première couche de peinture des pièces de fer et de fonte est faite au minium, la deuxième à la céruse et la troisième au vernis, en noir ou autre ton.

La couche de minium est appliquée aussitôt après la réception ; la pose n'a lieu que lorsque cette couche est suffisamment sèche.

Les bois à peindre doivent être convenablement préparés, grattés et nettoyés, toutes les fentes et gerçures soigneusement mastiquées après la première couche. Les nœuds de sapin doivent être encollés à la colle et poncés.

Il faut toujours laisser à chaque couche le temps de sécher avant d'appliquer la suivante ; lorsque la peinture est couchée bien uniformément et de façon que tout aspect de bois ait disparu, on ponce et on gratte la peinture qui gênerait le jeu des ferrures.

Les goudronnages sont faits avec du goudron de gaz chauffé à 100 degrés (68).

Dans le règlement des ouvrages, les bois sont comptés au mètre cube pour les poteaux, semelles, contre-fiches, moises, lisses, etc. ; les barrières proprement dites, au mètre courant ; les ferrures au poids ; les peintures et goudronnages, au mètre carré développé ; les terrassements et la maçonnerie au mètre cube.

Pour les peintures, on ne tient pas compte de la différence de tons donnés aux ferrures et aux bois ; dans les maçonneries de scellement, on déduit le cube des bois engagés.

Quand, par suite des données locales, les barrières peuvent au gré

développement et que les dimensions des bois les rendent trop pesantes, ou lorsqu'elles sont manœuvrées fréquemment, on construit les barrières en fer, en ayant soin de choisir les échantillons les plus simples et les plus légers.

Dans les anciennes lignes où l'on remplace les rails usés par des rails neufs, on se sert avantageusement de bout de vieux rails pour former les pièces principales, les poteaux qui peuvent aussi s'enfouir sans danger dans la terre. On les fixe sur un croisillon en fer à l'aide de quatre équerres (111).

107. — Barrières pour piétons. — Les passages à niveau pour piétons sont ordinairement accolés aux passages pour voitures. Clos par des *portillons*, des *guichets* ou des *tourniquets*, ils ont pour but de permettre le passage aux piétons tant que les trains ne sont pas en vue et que les barrières du passage des voitures sont fermées. Ils doivent être disposés de façon à empêcher les animaux de grande taille de pénétrer sur la voie, même dans le cas où la barrière ne serait pas fermée par un loquet.

On a employé au chemin de fer du Nord français des tourniquets formés d'un poteau de $1^m,70$ de longueur, de $0^m,15 \times 0^m,15$ d'équarrissage, s'élevant de 1 mètre au-dessus du sol et portant sur sa tête un goujon vertical autour duquel peut tourner un croisillon fait avec deux pièces de 1 mètre de longueur, de $0^m,12 \times 0^m,12$ d'équarrissage, assemblées à angle droit et à mi-bois. Cet appareil se trouve placé, soit entre deux poteaux isolés, soit entre un poteau isolé et celui de la barrière à laquelle est accolé le tourniquet.

Fig. 126. — Portillon et barrière 15/1000.

Ces tourniquets, sous lesquels les enfants et les animaux de petite espèce peuvent passer et ensuite pénétrer dans l'enceinte du chemin de fer, sont, en outre, incommodes pour les personnes chargées de fardeaux. Une circulaire ministérielle du 14 juin 1855 a prescrit l'usage de portillons se fermant seuls et munis d'un système de ferrure permettant aux gardes de les fixer au poteau dormant pendant le passage des trains.

La figure 126 indique une disposition de portillon employée sur les anciennes sections des chemins de fer de l'Est. Elle représente deux portes solidaires tournant autour du même montant et formant entre elles un angle de 90 degrés. L'axe tourne dans une frette à la partie supérieure et dans une crapaudine ou autour d'un gond à la partie inférieure. Une petite inclinaison donnée à l'axe commun, par rapport au poteau qui soutient la barrière, force la porte à rester constamment appuyée contre le poteau d'arrêt. On donne à ces portes $1^m,20$ de hauteur environ et $0^m,70$ d'ouverture. Elles sont généralement formées d'un châssis en chêne avec un remplissage extérieur de lattes en sapin. Ces portillons peuvent être, comme nous l'avons dit, accolés à une barrière ou isolés. Dans les deux cas, les poteaux sont fondés, suivant la nature des terrains. dans un massif en maçonnerie ou au moyen de semelles et contre-fiches.

Ce système, peu coûteux, répond mieux que le précédent au but proposé. On peut y appliquer une petite serrure que les gardes ferment pendant le passage des trains.

Voici comment, au chemin de fer de l'Est on établit le prix de revient de ce système de portillon (voir le tableau page 234) :

INDICATION DES OUVRAGES	Prix de l'unité	PORTILLON ATTACHÉ A UNE BARRIÈRE			PORTILLON PLACÉ LIBREMENT		
		Quantités	DÉPENSES PAR Article	DÉPENSES PAR Ouvrage	Quantités	DÉPENSES PAR Article	DÉPENSES PAR Ouvrage
	fr.		fr.			fr.	
1° Déblais et remblais de terre, mètre cube. . .	1.00	0.30	0.30		0.71	0.81	
2° Remplissage en maçonnerie sèche à l'entour du poteau, mètre cube . .	11.00	0.21	2.31		0.44	4.84	
3° Charpente de chêne à vives arêtes	82.00	0.05	4.45		0.12	9.84	
4° Plus-value pour parties rabotées	7.00				0.08	0.56	
5° Menuiserie en chêne de 0,055 d'épaisseur, mètre carré	9.50	0.20	1.90		»		
6° Menuiserie en chêne de 0,041 d'épaisseur, mètre carré	8.00	0.27	2.16		»		
7° Lattes en sapin de 47/22^{mm}, mètre courant.	0.20	9.12	1.82		»	16.28	
8° Fonte pour crapaudine, kilogr	0.60	1.00	0.60		»		
9° Fer forgé et laminé pour frettes à boulons, gonds à supports, bandes à boulons et à vis et clous.	1.20	7.00	8.40		»		
10° Goudronnage des bois enterrés			1.00		»	2.00	
11° Peinture à l'huile sur trois couches, mèt. carré.	1.00	5.00	5.00		6.00	6.00	
12° Transport à pied d'œuvre et pose			4.00		»	4.50	
13° Serrure			6.00		»	6.00	
Prix totaux. . .				37f94			50f73

Sur les chemins de fer de l'Ouest et du Nord, on emploie des barrières à guichet (fig. 127). Du côté du battement de la porte, soit en dedans du chemin comme au Nord, soit en dehors comme à l'Ouest, le piéton entre dans un couloir où il est obligé de se ranger dans l'un des angles de la palissade pour permettre au portillon de s'effacer et de lui livrer passage ; cette manœuvre, qui demande un peu de réflexion, ne peut pas être effectuée par

les animaux. Au chemin de fer du Nord, les guichets-portes ont 0m,70 de largeur. Toute la charpente est en chêne à vives arêtes ; et le remplissage en lattis de sapin ; le montant de la barrière porte inférieurement un petit galet roulant sur un plan incliné qui la force à rester constamment fermée.

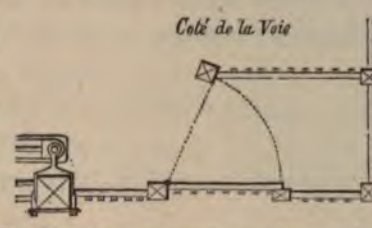


Fig. 127.—Guichet accolé à une barrière 1/50.

Les guichets du chemin de fer de l'Ouest ont 0m,80 de large et la porte 1 mètre ; la charpente est en chêne, les poteaux sont fondés dans des massifs en maçonnerie ou avec semelles et contre-fiches. Un petit loquet exigeant l'emploi d'une clé spéciale, sert à la fermeture des portes par les gardes, au moment du passage des trains.

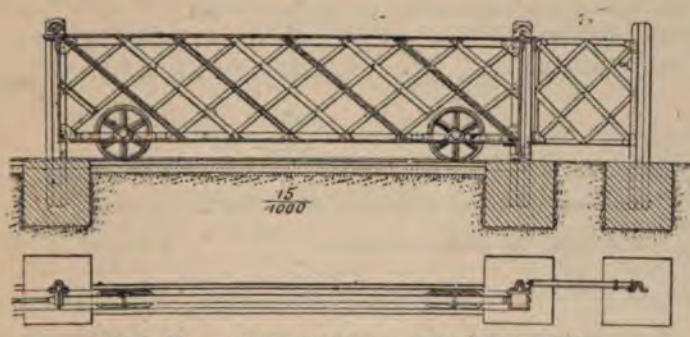


Fig. 128. — Barrière en fer à vantaux roulants, Midi.

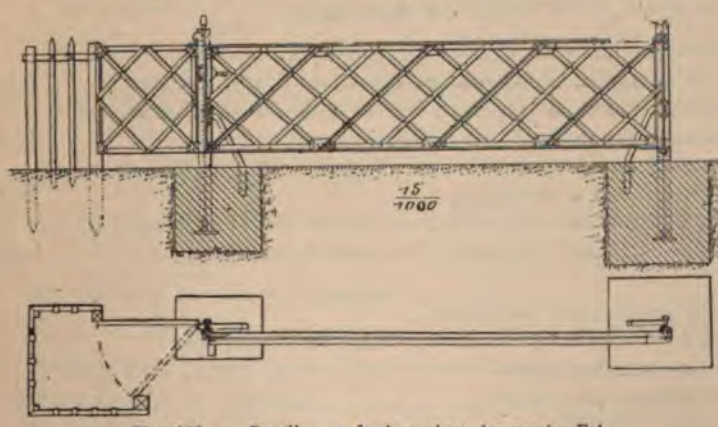


Fig. 129. — Barrière en fer à vantaux tournants, Est.

Les figures 128 et 129 représentent d'autres dispositions de guichets et portillons en fer employés sur le Midi et l'Est (110 et 111).

Nous avons vu plus haut comment on évaluait les divers ouvrages ; voici l'avant-métré qui peut servir à établir le prix des guichets isolés en bois, appliqués sur le réseau de l'Ouest.

AVANT-MÉTRÉ D'UN GUICHET POUR PIÉTONS

1° Terrassements

Déblai pour la fondation des poteaux . $5 \times 0{,}60 \times 0{,}60 \times 1 = 1^{m3},800$

2° Maçonnerie

Massifs en maçonnerie sèche, pour maintenir les poteaux
$5 \times 0{,}60 \times 0{,}60 \times 0{,}70 = 1{,}44$
à déduire l'emplacement des poteaux
$5 \times 0{,}12 \times 0{,}12 \times 0{,}80 = 0{,}06$
$1{,}380$

3° Charpenterie et Menuiserie

Bois de chêne à vive arête raboté sur les faces vues :
Poteau de battement. . . . $1 \times 2{,}40 \times 0{,}12 \times 0{,}14 = 0{,}040$
Les autres poteaux . . . . $4 \times 2{,}40 \times 0{,}12 \times 0{,}12 = 0{,}138$
$0{,}178$

Montants du portillon en chêne de $\frac{0{,}06}{0{,}08}$ corroyés sur les quatre parements . . . . . $2 \times 1^{m}30 = 2^{m}60$

Traverses hautes et basses du portillon et des barrières en chêne de $\frac{0{,}09}{0{,}04}$ corroyées sur les quatre parements. . . $2 \times 3^{m}40 = 6^{m}80$

Lames du portillon et des barrières en chêne de $\frac{0{,}05}{0{,}02}$ corroyées sur les quatre parements et clouées sur les traverses. $24 \times 1^{m}30 = 31^{m}20$

4° Ferronnerie

Equerres de façon de 0,32 de développement en fers de 0,005 sur 0,028 entaillées, fixées chacune avec 5 vis à tête fraisée. . 3 pièces

Paumelle double de façon en fer de 0,005 sur 0,025 entaillée et fixée avec quatre vis à tête fraisée. . . . . 1 pièce

Galet avec sa tige verticale et son chemin circulaire entaillés et fixés avec cinq vis à tête fraisée. . . . . 1 pièce

Petit loquet en fer avec sa clef, sa boîte en tôle et sa gâche, les dites boîte et gâche fixées avec 6 vis à tête fraisée. . . . . 1 pièce

5° Peinture

Peinture à l'huile à 3 couches de toutes les parties vues :

Faces verticales des poteaux . . .	$5 \times 1{,}40 \times 0.48 =$	$3^{m2}36$
Faces de dessus des poteaux. . . .	$5 \times 0{,}14 \times 0{,}14 =$	0 , 10
Montants du portillon	$2 \times 1{,}30 \times 0{,}28 =$	0 , 73
Traverses du portillon et des barrières.	$2 \times 3{,}43 \times 0{,}26 =$	1 , 78
Lames	$24 \times 1{,}12 \times 0{,}14 =$	3 , 76
		$9^{m2}73$

Ce système, quoique compliqué et coûteux donne de bons résultats, car le passage exigeant une certaine manœuvre, les hommes en état d'ivresse et les animaux ne sauraient sans grande difficulté s'introduire sur la voie, alors même que la barrière ne porterait pas de loquet.

Peut-être trouverait-on quelque avantage à remplacer ces guichets par un système plus simple, employé en Angleterre et représenté en plan par la figure 130. La porte s'ouvre et se ferme dans un espace angulaire où le piéton est obligé de pénétrer pour passer. Au chemin de fer d'Orléans (réseau central) on construit des guichets analogues. L'espace angulaire est remplacé par un demi-cercle (fig. 142, p. 255). Ces guichets doivent présenter l'inconvénient d'être trop étroits pour des personnes chargées et plus coûteux que ceux du système anglais (fig. 130).

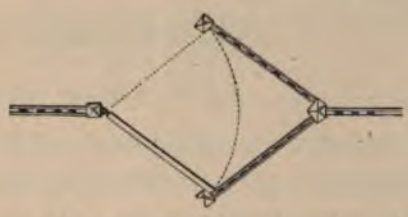


Fig. 130.—Guichet employé sur les chemins anglais 1/50.

Enfin, on est souvent obligé d'établir dans les clôtures courantes des petites portes sur certains sentiers ou pour donner passage à des particuliers dont la propriété est traversée par la ligne. La figure 117, indique la disposition d'une porte de $0^m,75$ d'ouverture dans une clôture courante en treillage ordinaire du système employé sur la ligne du Nord. Ces portes doivent rester constamment fermées ; elles ne peuvent être ouvertes qu'au moyen d'une clé confiée au propriétaire sous certaines conditions énoncées au chapitre XII.

108. — Barrières à lisse. — Dans les endroits peu fréquentés et où cependant l'établissement de passages à niveau est nécessaire, on se contente le plus souvent de barrière à lisse.

Les barrières à lisse tournante (fig. 131) du chemin de fer du Nord se composent de deux poteaux extrêmes, fondés avec semelles et contre-fiches en bois ou dans un massif en maçonneries qui limitent la largeur du passage et d'une lisse unique barrant le chemin à 1 mètre environ au-dessus du sol. Cette lisse horizontale est assemblée avec un poteau-tourillon vertical et une contre-fiche oblique. La section de la lisse varie de $0^m,12 \times 0^m,10$ à $0^m,12 \times 0^m,07$ d'une extrémité à l'autre. Le poteau-tourillon est relié au

Fig. 131.—Barrière à lisse tournante 1/200

moyen de ferrures, avec un des poteaux extrêmes du passage, tandis qu'un verrou, sur le poteau opposé, sert à fixer l'extrémité de la lisse pendant la fermeture. A ces barrières sont quelquefois accolés des tourniquets, et, dans ce cas, on donne la préférence au premier que nous avons décrit, comme étant le plus simple et le moins coûteux (page 232).

Les barrières à lisse glissante (fig. 132) sont formées simplement d'une

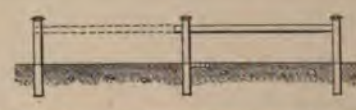


Fig. 132. — Barrière à lisse glissante 1/200.

lisse horizontale à 1 mètre du sol, dont les extrémités, pendant la fermeture, sont engagées dans deux mortaises qui traversent les poteaux extrêmes du passage. D'un côté de la barrière, on place une lisse fine sur laquelle peut glisser la lisse mobile. La manœuvre est plus facile quand on remplace la surface horizontale de glissement de la lisse dormante par une saillie en dos d'âne; la lisse mobile, ainsi guidée dans son mouvement, glisse encore plus

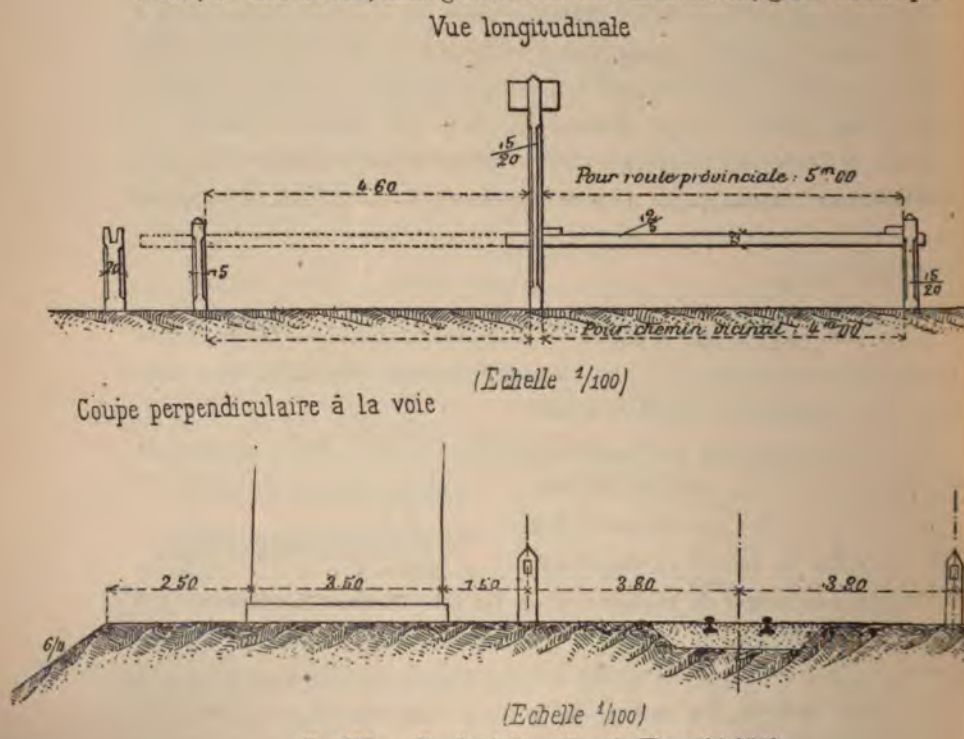


Fig. 133. — Barrière à lisse glissante (Thessalie) 1/100.

légèrement lorsqu'on la fait porter sur un petit galet placé à l'entrée de la mortaise.

Sur les chemins de fer de Thessalie, on a employé aux passages à niveau, sur les routes à circulation importante, de 4, 5 et 7 mètres des barrières à lisse glissante (fig. 133). Un des poteaux extrêmes porte une plaque indicatrice, et l'autre poteau reçoit dans une mortaise l'extrémité de la lisse, dont la course est limitée au moyen d'un tasseau fixé à sa partie supérieure. Le même tasseau vient buter contre le premier poteau lorsque la barrière est ouverte, et son autre extrémité s'engage dans une mortaise ouverte à sa partie supérieure et pratiquée dans un troisième poteau.

Barrière à double lisse. — Dans certains cas, et pour de grandes ouvertures, on peut, comme aux chemins suisses, placer de chaque côté de la lisse fixe un guide formé d'une barre de fer méplat, et, sur le prolongement de la lisse mobile, deux systèmes de galets qui comprennent le guide entre eux. Les deux systèmes de galets sont suffisamment écartés pour que la lisse mobile soit toujours maintenue horizontale, même au moment où son extrémité opposée quitte le poteau correspondant. La lisse mobile a ordinairement une section qui va en décroissant d'une extrémité à l'autre; malgré cela, on arrive, pour de grandes ouvertures, à des lisses d'un poids considérable et difficiles à manœuvrer. Dans ce cas, une barrière analogue, dans laquelle la lisse pleine serait remplacée par deux madriers de faible équarrissage, écartés de $0^m,40$, et reliés par des entretoises en bois ou en fers légers, serait moins coûteuse et plus facilement maniable (fig. 134). La fer-

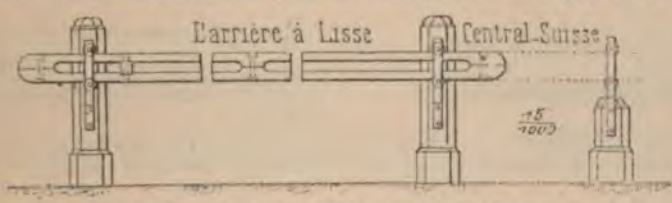


Fig. 134. — Barrière à double lisse, (Central Suisse).

meture se fait au moyen d'un goujon en fer traversant le poteau et l'extrémité de la lisse mobile, quelquefois au moyen d'une petite vis de pression qui s'appuie sur l'extrémité de la lisse et tourne sur une plaque formant écrou, fixée sur le poteau. Une clé, que les gardes ont à leur disposition, permet de manœuvrer cette vis.

La Compagnie de l'Est a essayé de transmettre à distance la manœuvre des lisses glissantes, mais le mouvement s'effectue difficilement, et les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants.

En Allemagne, les barrières à lisse tournante se composent simplement d'une lisse doublée à l'une de ses extrémités (fig. 131), et sur le prolongement de laquelle on fixe une grosse pierre pour faire contrepoids. Cette lisse peut tourner horizontalement autour de la tête arrondie du poteau. On y trouve encore d'autres barrières à lisse de différents genres. Voici comment on en établit le prix :

Barrière à lisse tournante de 5m,50 d'ouverture (fig. 131)

Bois. 2 poteaux. 2m,20 × 0,21 × 0,21 × 2 = 0m3,194 à 65 fr. = . . .	12fr,65
— 4 semelles en croix. 1,50 × 0,10 × 0,10 × 4 = 0,060 à 65 fr. =	3 ,30
— Lisse en pin. 5m,00 × 0,13 × 0,13 = 0,0845 } 0,1565 à 50 fr. =	7 ,80
— Renfort. . . 2 ,00 × 0,24 × 0,15 = 0,0720 }	
Pierre à contrepoids : 0,60 × 0,20 × 0,25 = 0m3,030 à 60 fr. = . .	1 ,80
Main-d'œuvre, façon, rabotage et pose : 20 mètres à 0,50 c. = . .	10 ,00
Serrurerie. Ferrures, fourniture et pose de 6 k.,50 à 1 franc = . .	6 ,50
— Serrure	1 ,25
Peinture : 6ms,00 à 1 franc = ...	6 ,00
Somme à valoir	5 ,70
Prix total.	55fr,00

Barrière à lisse glissante de 3m,75 d'ouverture (fig. 132)

Prix de la barrière à lisse suspendue (voir ci-après).	25fr,00
Un poteau supplémentaire.	5 ,00
Main-d'œuvre.	1 ,25
Peinture	1 ,00
Serrurerie.	0 ,75
Prix total.	33fr,00

Fig. 135.
Barrière à lisse suspendue 1/150.

Fig. 136.
Barrière à deux lisses tournantes 1/200.

Barrière à lisse suspendue de 3m,75 d'ouverture (fig. 135)

Bois. 2 poteaux de : 1,85 × 0,21 × 0,21 = 0m3,165 à 65 fr. = . .	10fr,60
— Lisse en hêtre ou bouleau de 0,10 d'équarissage 3.45 à 0,45 c. =	1 ,55
Main-d'œuvre. Rabotage, carbonisation des parties enfouies sous terre, pose 7ms,20 à 0,50 c. = ...	3 ,60
Serrurerie. Fourniture et pose de crochets, anneaux, chaînettes et ferrures, 4 k., 50 à 1 franc = ...	4 ,50
Peinture. Peinture de toutes les parties vues à une couche d'impression et deux couches de peinture à l'huile, 3 mètres carrés à 1 fr. =	3 ,00
Somme à valoir.	1 ,75
Prix total.	25fr,00

Pour des passages de grande ouverture, on emploie quelquefois des barrières à deux lisses tournantes (fig. 136) dont voici le devis :

Barrière à deux lisses tournantes de 7^{m},50 d'ouverture (fig. 136)

Bois. Bois de chêne, 0^{m3},660 à 65 fr. =			42^{fr},90
— Bois de pin, 0$_{m}^{3}$,300 à 50 fr. =			15 ,00
Main-d'œuvre. Façon, etc., 36 mètres à 0,50 c.			18 ,00
Serrurerie. Ferrures de vantaux	18^{k}.00	24^{k},500 à 1 fr. =	24 ,50
— Fléau à serrure.	5 ,00		
— Ferrures des poteaux d'arrêts.	1 ,50		
Peinture, 12 mètres carrés à 1 franc =			12 ,00
Somme à valoir			7 ,60
		Prix total.	120^{fr}.00

109. — Barrières à bascule. — Un dernier système de barrières à lisse pour les passages rapprochés les uns des autres est celui des *barrières à bascule et contrepoids, pouvant se manœuvrer à distance.* Une lisse horizontale, dont la section décroît d'une extrémité à l'autre, est chargée d'un contrepoids qui tend à la faire basculer autour d'un axe horizontal supporté par deux poteaux, et à la maintenir dans une position à peu près verticale, lorsque le passage est ouvert ; quand il est fermé, l'autre extrémité de la lisse repose simplement sur la tête d'un poteau, entre deux pattes en fer ou deux planches formant guide (fig. 137). Ces deux guides doivent s'évaser suffisamment pour que la lisse mobile s'engage toujours entre eux, quand elle retombe.

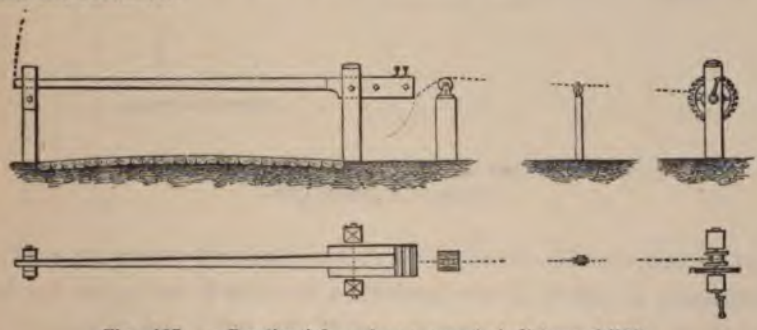


Fig. 137. — Barrière à bascule manœuvrée à distance 1/100.

Le contrepoids peut être formé, comme au chemin de fer du Nord, d'un sabot en fonte, ou plus simplement, comme aux chemins belges, suisses et aux chemins de fer de l'Est, de deux madriers boulonnés sur la lisse et de deux bouts de rails fixés à l'extrémité, ou plus simplement encore d'une pierre. Le contrepoids tend constamment à maintenir la lisse dans une position

verticale et par conséquent le passage ouvert. Pour la fermer, on opère à l'extrémité du contrepoids une traction dont la direction est aussi rapprochée que possible de la verticale, au moyen d'une chaîne passant sur une première poulie, et attachée à un fil de fer de $0^m,005$, qui est guidé de 10 mètres en 10 mètres, par exemple, par des galets. Le fil aboutit enfin à une autre chaîne qui s'enroule sur un treuil. On voit qu'il faut double système de fils et de galets pour les deux barrières qui défendent les deux côtés de la ligne, ce qui oblige encore les gardes à traverser les voies, manœuvre quelquefois dangereuse.

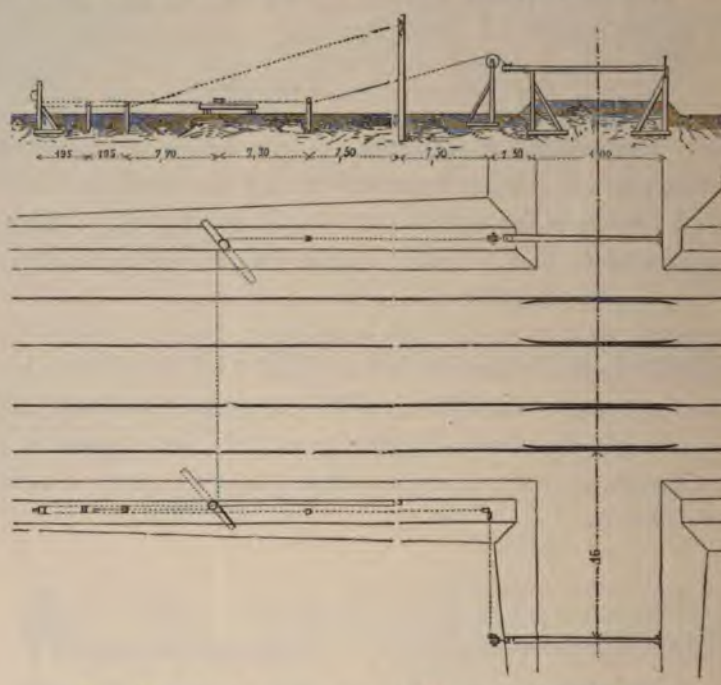


Fig. 138. — Barrières manœuvrées à distance, par un seul fil, avec avertisseur et garage 1/250.

Au chemin de l'Est, on applique, depuis plusieurs années, un mode de transmission à travers la voie permettant de faire la manœuvre des deux barrières en même temps et avec un seul fil (fig. 138) ; cette disposition est aussi appliquée aux chemins badois.

Une bonne précaution, prise également sur ces derniers chemins, consiste à placer les barrières à bascule, manœuvrées à distance, assez loin de la voie pour laisser un espace suffisant au garage d'une voiture engagée pendant la fermeture ; en effet, ces barrières sont difficiles à surveiller et quelquefois même invisibles ; il peut se faire que le garde, fermant les barrières au moment du

passage d'un train, emprisonne une voiture sur la voie. L'addition du garrage ne saurait augmenter sensiblement les dépenses, les passages ainsi fermés n'étant pas généralement pavés. On ajoute aussi à ces dispositions une sonnette manœuvrée à distance par le garde, quelques instants avant la fermeture des barrières.

Quand le régime de l'exploitation nécessite le maintien de la fermeture du passage à l'état normal, il faut que le garde chargé de la manœuvre à distance de ces barrières soit averti qu'un attelage demande l'ouverture du passage fermé, ce qui s'effectue par une sonnette manœuvrée à l'aide d'un fil de tirage qui part du passage fermé et aboutit au poste du garde.

Les diverses barrières à lisse que nous venons de voir ont l'inconvénient de laisser le passage trop facile en dessous de la lisse. On remédie à cet inconvénient par l'addition d'une sous-lisse suspendue à la lisse principale à l'aide de chaînes ou mieux de petites tringles rigides articulées.

On a établi ces barrières en fer, la lisse supérieure est alors formée d'un fer méplat consolidé par des cornières, et les lisses inférieures en fer méplat.

Le tableau que nous donnons plus bas résume l'avant-métré de deux barrières à bascule et à contrepoids analogues à celles employées sur les chemins prussiens. Les poteaux sont en chêne, l'arbre quelquefois en sapin, d'un équarrissage décroissant d'une extrémité à l'autre, le contrepoids formé d'un sabot en fonte.

Barrières à bascule de 5 mètres d'ouverture. — Avant-métré.

DÉSIGNATION des ouvrages et parties d'ouvrages et indications de leur nature	Nombre des parties ou pièces semblables	DIMENSIONS réduites			SURFACES		CUBES		POIDS
		Longueur pour chacune ou ensemble	Largeur	Hauteur ou épaisseur	Auxiliaires	Définitives	Auxiliaires	Définitifs	
A. — *Quantités indépendantes de la distance de traction.*									
BOIS		m.	m.	m.			m³	m³	
Poteaux principaux	2	2,200	0,235	0,155			0,080135	0,160270	
Semelles	2	1,250	0,105	0,210			0,027562	0,055125	
Ecoinçons	2	1,100	0,235	0,155			0,040067	0.080135	
Poteaux de soutien.	2	2,500	0,235	0,155			0,091062	0,182125	
Arbres	2	6,000	0,105	0,105			0,066150	0,132300	
Poteaux élevés . .	2	2,600	0,235	0,155			0,094705	0,189410	
Poteaux pour les tambours . . .	2	1,100	0,235	0,155			0,040067	0,001355	
Semelles	2	1,250	0,105	0,210			0,027562	0,055125	
Ecoinçons . . .	2	1,100	0,130	0,155			0,022137	0,044374	
Cube des bois . .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	0,978999	
FERS									
Ferrures des barrières	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	15kg
Ferrures des tambours	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	33
Chaînes	2	3,150	. .	. .	. .	. .	. .	. .	15
Sabots en fonte pour contrepoids . . .	2	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	120
Poids . .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	183kg
PEINTURE					m²	m²			
Poteaux principaux	2	1,250	0,235	0,155	0,9750	1,9500			
Poteaux de soutien.	2	1,350	0,235	0,155	1,0530	2,1060			
Poteaux élevés . .	2	1,650	0,235	0,155	1,2870	2,5740			
Barrières . . .	2	6,000	0,105	0,105	2,5200	5,0400			
Poteaux de tambours	2	0,630	0,235	0,155	0,4914	0,9828			
Tambours	2	0,314	0,165	diam.	0,1632	0,3265			
Surfaces des peintures	. .	. .	. .	. .	. .	12,9793			
B. — *Quantités variables pour chaque longueur de 25 mètres.*									
BOIS. Poteaux guides	2	1,650	0,105	0,105	. .	. . . .	0,018191	0,036382	
FERS. Crampons . .	2	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	0,50
FERS. Fil de fer, 50m	2	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	4,00
Peinture des poteaux guides . .	2	0,950	0,105	0,105	0,3990	0,7980			
Surface des peintures	. .	. .	. .	. .	. .	0,7980			
Cubes des bois . .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	0,036382	
Poids des fers . .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	4k50

Ainsi deux barrières de 5 mètres, établies dans les conditions précédentes, reviendraient à 150 francs environ, somme à laquelle il faudrait ajouter 9 fr. 50 par 25 mètres de tirage.

Pour une barrière de 450 mètres de tirage, le prix se composerait de . . . . . 150 fr.

plus $\frac{450}{25} \times 9$ fr. 50 171

321 fr.

110. — Barrières à vantaux tournants. — Les barrières pivotantes à un seul vantail des chemins de fer du Nord ont de 4 à 8 mètres de largeur et $1^m,50$ de hauteur (fig. 139). Elles sont toutes formées d'un poteau A, d'un vantail à claire-voie et d'un poteau heurtoir B.

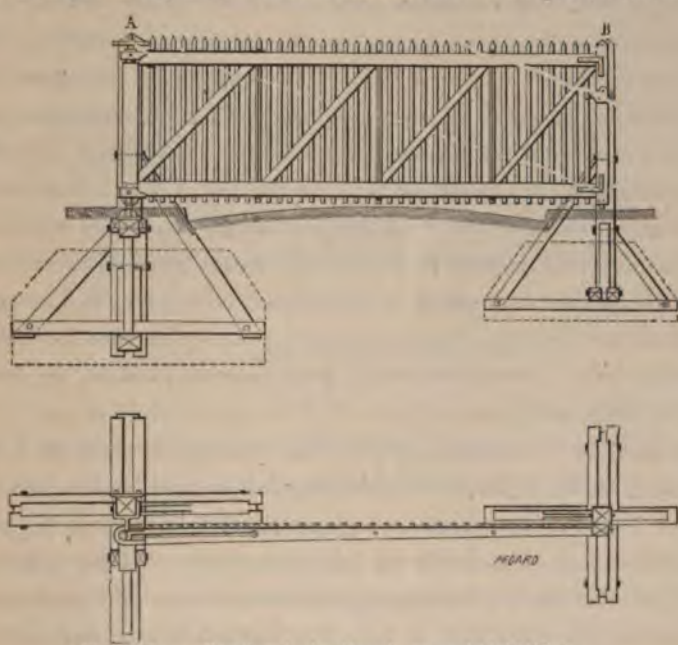


Fig. 139. — Barrière de 4 mètres à un vantail 15/1000.

Le poteau A, saillant de $1^m,50$ au-dessus du sol a $0^m,20$ sur $0^m,20$ d'équarrissage et $5^m,50$ environ de longueur; il est solidement fondé au moyen d'un système de semelles et de contre-fiches ou d'un massif en maçonnerie. Ce poteau est destiné à supporter tout le poids de la barrière quand elle est en mouvement. Le poteau B reçoit la butée du vantail; on lui donne $0^m,15$ sur $0^m,15$ d'équarrissage, $2^m,20$ environ de longueur; il est fondé comme le poteau A, mais avec des pièces de plus faibles dimensions.

Le vantail se compose d'un châssis formé par le poteau-tourillon suspendu

au poteau A, le battant et deux traverses horizontales d'une longueur correspondante à la portée du vantail. Les deux traverses sont réunies par trois, quatre ou six tirants verticaux en fer, suivant que la barrière a quatre, six ou huit mètres d'ouverture, leur écartement et la solidité du châssis étant assurés par quatre, cinq ou sept pièces obliques parallèles, assemblées sur les traverses.

Le poteau-tourillon est formé de deux pièces moisées de $0^m,16$ sur $0^m,066$ d'équarrissage, comprenant dans l'intervalle qui les sépare les extrémités des deux traverses et le boulon qui sert d'axe au mouvement. Ce boulon est maintenu à la partie supérieure par l'œil d'un étrier embrassant le poteau A et se termine à la partie inférieure par une surface sphérique qui repose dans une crapaudine. Cette crapaudine porte inférieurement deux oreilles au moyen desquelles on la fixe par un boulon sur un petit tasseau horizontal, assemblé avec le poteau A et les contre-fiches. Pour soulager les ferrements, lorsque la barrière est au repos, le poteau heurtoir porte, inférieurement, un petit support sur lequel vient reposer l'extrémité du vantail fermé. Les traverses horizontales ont une largeur de $0^m,12$, leur épaisseur va en diminuant du plateau-tourillon au battant, de $0^m,14$ à $0^m,06$. Les pièces obliques ont une section carrée dont le côté diminue de 5 en 5 millimètres à partir de l'axe de rotation.

Pour la barrière de 4 mètres la section varie de la première à la quatrième de $0^m,075$ sur $0^m,075$ à $0^m,06$ sur $0^m,06$; pour les barrières de 6 mètres, de $0^m,08$ sur $0^m,08$ à $0^m,06$ sur $0^m,06$; pour celles de 8 mètres, de $0^m,08$ sur $0^m,08$ à $0^m,05$ sur $0^m,05$.

On consolide l'ensemble au moyen d'une plate-bande posée sur la traverse supérieure, depuis le poteau-tourillon jusqu'au premier boulon pour les barrières de 4 mètres, et sur toute la longueur pour les barrières de 6 à 8 mètres. Cette plate-bande est traversée par les tirants verticaux et par le boulon formant l'axe de rotation. L'assemblage du battant avec les traverses est consolidé au moyen d'équerres en fer. Un loquet à ressort placé à l'intérieur ferme la barrière.

Sur ce châssis en bois de chêne, on cloue un remplissage de lattes en sapin de $0^m,04$ sur $0^m,02$, espacées de $0^m,095$ d'axe en axe.

Ces barrières sont compliquées, lourdes et coûteuses, surtout en ce qui concerne les ferrures ; le poids des vantaux de 4 à 8 mètres ne tarde pas à faire dévier le pivot et fausser les ferrures. Les barrières fréquemment dérangées, et ne pouvant plus s'ouvrir ou se fermer, sont cause d'ennuis incessants, de contestations, de frais d'entretien et d'indemnités pour accidents.

Au chemin de fer de l'Est, on a employé un système de barrières à hau-

teur variable (fig. 140) ayant 3m,60, 4, 5 et 6 mètres d'ouverture. Un portillon, déjà décrit, y est généralement accolé.

Ces barrières sont revenues à un prix assez élevé, comme l'indiquent les chiffres suivants résumés des sous-détails établis plus loin :

Barrières de	6 mètres	d'ouverture	(à hauteur variable) :	377fr.,76
»	5	»	»	331 ,44
»	4	»	»	219 ,76
»	3,60	»	»	195 ,67

Ces prix supposent les poteaux des barrières établis sur un terrain solide, dans le cas contraire, la fondation en maçonnerie était comptée à raison de 11 francs le mètre cube.

Fig. 140. — Barrière et Portillon (Est) 15/1000.

Sur la ligne de Mulhouse, on a fait des barrières à simple vantail, de 3m,60, 4 mètres, 5 mètres, et 6 mètres d'ouverture, disposées exactement comme celles du Nord, à quelques détails près ; les barrières de 7 mètres et 8 mètres sont toujours à deux vantaux.

On a été conduit quelquefois à faire des barrières de 4, 5 et 6 mètres à deux vantaux. Elles sont toutes formées de deux vantaux disposés exactement comme celui des barrières à un vantail. Les deux battants des vantaux viennent buter contre une pierre et sont jointifs quand le passage est intercepté. La fermeture se fait à la partie supérieure, au moyen d'un fléau à coulisse muni d'une petite serrure, et à la partie inférieure au moyen d'un verrou de forme spéciale.

Les passages à niveau de la ligne de Bâle sont fermés par des barrières en chêne, rustiques, solides, très simples, très économiques et qui nous paraissent pour cela devoir être imitées.

Elles ont 4, 5, 6 ou 7 mètres d'ouverture et, toujours à deux vantaux (fig, 141), fixés sur les poteaux au moyen de gonds et pentures, tous les

Barrières à hauteur variable (Est).

INDICATION des OUVRAGES	PRIX DE L'UNITÉ	DE 6 MÈTRES d'ouverture			DE 4 MÈTRES d'ouverture		
		QUANTITÉS	DÉPENSE		QUANTITÉS	DÉPENSE	
			Par article	Par ouvrage		Par article	Par ouvrage
Déblais et remblais de terre. m³.	1,00	13,31		13,31	6,08		6,08
Charpente de chêne à vives arêtes	82,00	1,10	90,20		0,62	50,84	
Plus-value pour parties rabotées.	7,00	0,35	2,45		0,22	1,54	
				92,65			52,38
Menuiserie en chêne de :							
0m,075 d'épaisseur. m².	11,50	2,55	29,32				
0 ,11 — . . .	16,00	1,00	16,00				
0 ,10 — . . .					0,66	9,90	
0 ,06 — . . .					1,69	16,90	
Lattes en sapin de $\frac{47^{m}/_{m}}{22^{m}/_{m}}$. m. c^t.	0,20	50,40	10,08		35,00	7,00	
				55,40			33,80
Fonte pour frettes et crapaudines. . . . . kil.	0,60	10,00	6,00		7,00	4,20	
Fer forgé et laminé de toute nature							
Frettes à boulons pour montants.		12,00			10,00		
Gonds à supports pour montants supérieurs.		10,00			8,00		
Gonds à supports pour montants inférieurs		10,00					
Bandes à équerres et à bras, compris boulons et écrous. . . .		56,00			30,00		
Verrous, loquets et taquets . .		9,00			9,00		
Clous à fixer les lattes. . . .		3,00			2,00		
Tirants, compris guides et vis de rappel		17,00					
	1,20	117,00	140,40		59,00	70,80	
Boîte de fermeture. . la pièce			10,00			10,00	
				156,40			85,00
Goudronnage des bois enterrés .				4,00			3,50
Peinture à l'huile sur 3 couches. m²	1,00	22,00		22,00	14,00		14,00
Pierre de taille pour verrous et taquets.				7,00			7,00
Transport à pied d'œuvre et pose par mètre courant d'ouvrage. .	4,50	6,00		27,00	4,00		18,00
Dépense pour une barrière . fr.				377,76			219,76

assemblages sont consolidés à l'aide d'équerres en fer, fixées par des vis à bois à tête fraisée. La fermeture de la barrière s'effectue par un fléau en bois qu'arrête un petit loquet. Les lattes verticales en sapin ont $0^m,10$ de largeur,

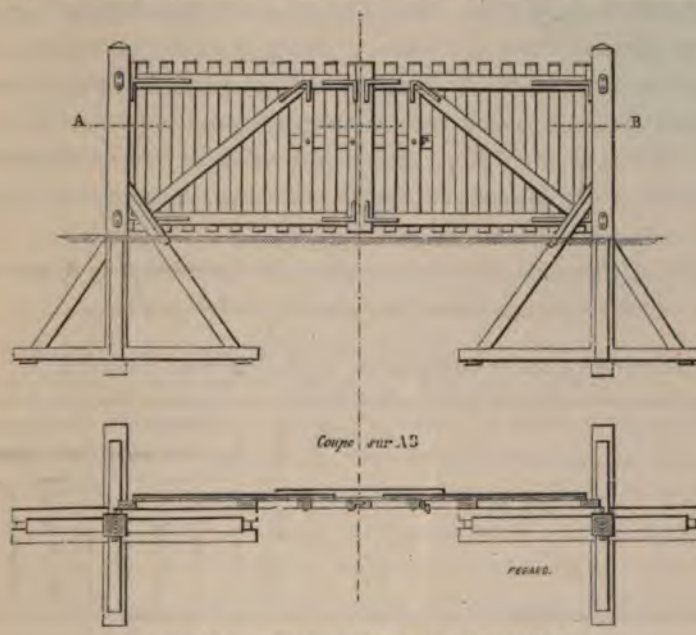


Fig. 141. — Barrières à deux vantaux 15/1000.

$0^m,02$ d'épaisseur avec un écartement de $0^m,10$, fixées extérieurement à la voie contre les traverses supérieure et inférieure, au moyen d'une latte horizontale clouée et formant moise avec ces dernières. A droite et à gauche de la barrière se trouvent des taquets destinés à limiter l'ouverture des vantaux. Ces taquets sont formés d'un poteau de $2^m,50$ enfoncé dans le sol sur une profondeur de $1^m,50$ environ, et portant un petit tasseau horizontal qui sert de repos à l'extrémité du vantail. Un piton, sur chaque vantail, et un crochet correspondant, sur chaque taquet, permettent de maintenir la barrière ouverte.

Ces barrières sont simplement goudronnées sur toutes les surfaces. Ce goudronnage se refait environ tous les deux ans par le service de l'entretien. Le prix des barrières de 4 mètres de ce type, n'atteint pas 200 francs.

Comme nous l'avons dit plus haut, les barrières de passages à niveau doivent être faciles à entretenir. Ce résultat n'est obtenu que par la simplicité de la construction. C'est pourquoi nous insistons tout particulièrement pour conseiller l'adoption d'un type analogue à celui que nous venons de décrire.

l'expérience nous ayant démontré que le service de ces barrières était plus simple et plus régulier que celui des barrières à vantaux construites d'après des données plus compliquées.

Le chemin de fer de l'Est a trouvé quelque avantage à n'avoir que deux types de barrières, de 4 et 6 mètres ; elles sont analogues à celles à deux vantaux du chemin de fer du Nord que nous avons décrites plus haut. Les lattes sont en chêne, comme toute la charpente ; mais on a cherché à diminuer la dépense, en simplifiant, autant que possible les ferrures. Les vantaux sont supportés par des gonds et pentures ordinaires ; la fermeture s'obtient au moyen de verrous et de crochets.

Voici le détail estimatif de deux barrières de 4 mètres et de 6 mètres du chemin de fer d'Epinal à Aillevillers (chemins de fer de l'Est).

Barrières à deux vantaux de 4 et 6 mètres d'ouverture.

DÉTAIL	PRIX DE L'UNITÉ	DE 4 MÈTRES avec tourniquet		DE 6 MÈTRES sans tourniquet	
		QUANTITÉS	SOMMES	QUANTITÉS	SOMMES
Terrassements . . . . . m³.	1fr25	14,60	18fr25	14,60	18fr25
Coussinet.	5,00	1,00	5,00	1,00	5,60
Charpente pour travaux provisoires en premier emploi	45,00	0,102	4,59	0,102	5,59
Charpente en chêne. . . . . m².	140,00	0,657	91,98	0,776	108,64
Menuiserie en chêne. . . . . m².	15,00	1,985	29,78	2,385	35,78
Fuseaux en chêne . . . . . m. c⁴.	0,30	39,60	11,88	52,440	15,73
Fer forgé pour étriers, boulons, ferrements . . . . . kil.	1,00	2,80	2,80	2,80	2,80
Fer pour boulons, pentures, gonds, équerres, tourillons, clinches, crochets, verrous, etc. . . . . kil.	1,10	72,55	79,80	83,65	92,01
Crochets, pitons, etc.	0,50	2,00	1,00	2,00	1,00
Peinture. . . . . m².	1,10	14,80	16,28	17,26	18,99
Goudronnage. . . . . m².	0,60	14,145	8,49	14,59	8,75
Transport à pied d'œuvre et pose. . . .			18,00		30,00
Dépense totale pour une barrière. . . fr.			287,85		341,54

On tend généralement aujourd'hui à réduire les dépenses d'établissement des passages à niveau, en faisant ouvrir les barrières en dehors du chemin ;

on diminue aussi les frais de terrassement et de pavage. Le plus souvent quand la circulation est peu active, on supprime le pavage, que l'on remplace par une chaussée résistante en macadam.

Avant l'application des fers légers à la construction des barrières décrites plus loin, le chemin de fer de l'Est simplifiait les barrières en formant les vantaux au moyen de cadres en bois de chêne convenablement consolidés et remplis avec un treillage en lattes provenant des déchets de la préparation des traverses par le procédé Boucherie.

Ce treillage est analogue à celui employé à la construction des clôtures de stations dont nous avons parlé plus haut.

En résumé, l'expérience a fait reconnaître qu'on devait donner la préférence à des barrières légères, simples et cependant solides, peu coûteuses d'entretien, s'ouvrant le plus souvent à l'extérieur, quelquefois à l'intérieur de la ligne, mais ne pouvant jamais avancer jusque sur le passage des trains.

Aux abords des barrières de passages à niveau, on établit généralement des clôtures plus solides que celles de la voie courante, et qui se raccordent avec elles, à une petite distance de chaque côté du passage à niveau, Si la barrière est oblique par rapport au chemin traversant la ligne en biais, on emploie moins de clôtures que si la barrière est placée normalement au chemin ; dans le premier cas, la surface de pavage est également moins considérable, mais aussi les barrières ont une plus grande portée. On peut se rendre compte du coût de construction dans les deux hypothèses, en établissant, entre le prix de revient une comparaison analogue à l'exemple qui suit, appliqué à un passage oblique de 4 mètres de largeur normale :

Barrières obliques

2 barrières de 5 mètres à 282 fr. 50	565fr00
68 mètres carrés de pavage à 5 francs	340.00
8 mètres de clôture en échalas à 0 fr. 69	5.52
	910fr52

Barrières normales

2 barrières de 4 mètres à 181 fr. 36.	362fr72
94 mètres carrés de pavage à 5 fr.	470.00
16 mètres de clôture à 0 fr. 69	11.04
	843fr76

On a quelquefois employé aux abords des barrières de passages à niveau des clôtures construites avec le même soin et aussi solides que les barrières elles-mêmes. Ainsi au chemin de fer de l'Est, sur la ligne de Wissembourg, ces

clôtures de stations que nous avons décrites (102) (fig. 120, p. 219) revenaient, comme nous l'avons vu, à 9 fr., 27 le mètre courant.

Dans ces conditions, on voit que les barrières obliques ne seraient pas plus coûteuses que les barrières normales; mais c'est un exemple qu'il ne faut pas imiter.

Pour les routes peu fréquentées, on pourra conserver les clôtures courantes de la voie, et pour celles où la circulation est plus active, on leur donnera un peu plus de solidité.

Barrières en fer à vantaux tournants. — La Compagnie de l'Est emploie un type de barrières pivotantes tout en fer. Le pivot et les poteaux sont des bouts de rails vignoles hors de service, les cadres en fer cornières et le treillis en fer à ruban. Le type de 4 mètres d'ouverture (fig. 126), est très léger, de manœuvre facile et d'entretien peu coûteux, résultats rarement obtenus pour des barrières de cette catégorie. Son poids ne dépasse pas 280 kilogrammes; non compris $5^{m},50$ de vieux rails vignoles du prix de 15 francs. La barrière et le portillon accolé ne coûtent que 123 francs (0 fr. 55 par 100 kilogrammes).

On a fait l'essai sur la ligne de la Méditerranée d'une barrière à pivot en fer, portant un cadre formé à l'aide d'un fer cornière et contreventé par un fer plat placé en écharpe. Le vide du cadre est garni de lattes en bois, maintenues en place au moyen de clous en fer traversant des trous percés dans le fer cornière du cadre et retenus en place en ouvrant leur pointe qui est fendue comme une goupille de machine.

Cette disposition est très simple et doit donner une grande légèreté à l'appareil, facile d'ailleurs à entretenir.

La Compagnie d'Orléans remplace successivement les vantaux tournants en bois par des vantaux en fer.

111. — Barrières roulantes. — Quand les dispositions locales s'opposent à l'emploi des barrières tournantes, on établit des barrières roulantes. Ce cas se présente principalement quand on traverse une route d'une grande largeur, ou lorsqu'une route large coupe la ligne sous un angle très aigu, enfin quand un chemin modifié vient rejoindre le passage à niveau en longeant la voie. Il est impossible, dans ce cas, d'établir une barrière à pivot dont les vantaux fermeraient le chemin latéral à l'extérieur, ou la voie si les barrières s'ouvraient à l'intérieur. Il faut alors établir des barrières roulantes obliques par rapport au chemin et parallèles à la voie (fig. 68).

Barrières en bois. — Les barrières roulantes du Nord se composent de la barrière proprement dite et de la contre-barrière d'égale largeur. Leur mode de construction est analogue à celui des vantaux précédemment décrits. La barrière repose à chaque extrémité sur une petite roue en fonte de $0^m,50$ de diamètre; la largeur de la jante de cette roue est divisée en trois zones par un bourrelet qui s'engage entre deux rails ou deux madriers horizontaux, dont les angles en contact avec les roues sont garnis de fer à cornières. Ces rails, à fleur du sol pour ne pas gêner la circulation, s'étendent sur toute la longueur de la contre-barrière et de la barrière mobile, dont ils servent à guider la course. Ils sont fixés sur le milieu de petites traverses de 1 mètre de long, espacées d'environ $1^m,75$. La traverse supérieure de la barrière est garnie sur toute sa longueur d'un fer à simple T, dont la tige passe entre deux galets horizontaux établis sur un support relié à chaque poteau de la contre-barrière.

Ces derniers sont espacés de 2 mètres environ, à l'exception des deux premiers du côté de la barrière, qui sont distants de $0^m,80$ seulement.

On dispose de l'autre côté de la route deux poteaux semblables pour maintenir la barrière lorsqu'elle est fermée. Ces poteaux sont fondés, suivant la nature du terrain, avec semelles et contre-fiches, ou dans un massif de maçonnerie. Tout le remplissage des charpentes des barrières et contre-barrières est fait avec des lattes en sapin comme pour les barrières à pivot.

On doit éviter l'emploi de ces barrières roulantes ainsi établies, parce qu'elles sont coûteuses, lourdes, se gauchissent et deviennent par conséquent, d'un entretien difficile, d'une manœuvre pénible, surtout pour les femmes chargées le plus souvent du service des passages à niveau.

Barrières en fer. — Souvent il y a avantage à remplacer les barrières roulantes en bois par des barrières en fer simples et légères. C'est ce qu'on a fait au réseau central du chemin de fer d'Orléans et dans d'autres Compagnies.

Les barrières du chemin de fer d'Orléans (fig. 142), se composent d'un cadre en fer plat de $0^m,116$ de large dont le bord extérieur est serré entre deux cornières de $0^m,035$ et recouvert d'une plate-bande d'une largeur de $0^m,100$. L'intérieur du cadre est rempli par un latice en fers à cornière, de $0^m,035$ fixés de part et d'autre du cadre et à tous les points de croisement par des rivets. Les cornières du latice, inclinées à 45°, sont à une distance horizontale de $0^m,375$ les unes des autres, d'axe en axe des rivets. Les fers dont nous venons de parler ont $0^m,004$ d'épaisseur.

Tout le système repose, au moyen de chapes en fonte faisant corps avec le cadre, sur deux roues en fonte de $0^m,50$ de diamètre roulant sur un guide

Barrières roulantes (types du chemin de fer du Nord)

DÉSIGNATION	Prix de l'unité	OUVERTURE 4m00 Quantités	4m00 Prix	6m00 Quantités	6m00 Prix	8m00 Quantités	8m00 Prix	10m50 Quantités	10m50 Prix	OBSERVATIONS
Charpente en bois de chêne.	136fr00	1.680	228fr48	2.049	278fr86	2.412	328fr03	3.050	414fr80	
Menuiserie (chêne et sapin)	14.85 et 6.00	10.34	109.30	14.12	148.80	20.85	192.00	20.85	257.40	
Fers	70.00	207.00	144.90	245.00	171.50	300.00	210.00	428.00	299.60	
Fontes	40.00	128.00	51.20	131.00	52.40	134.00	53.60	250 00	100.00	
Pose et ajustement de fers et fontes, pièces pesant plus de 2 kilos . . .	8.25	255.00	21.00	277.00	22.85	329.00	27.14	516.36	42.60	
Pose et ajustement de fers et fontes, pièces pesant moins de 2 kilos. . .	16.50	80.00	13.20	99.00	16.35	105.00	17.32	162.42	26.80	
Goudronnage sur les bois à sceller	0.165	31.00	5.10	38.00	6.30	43.00	7.00	54.00	9.00	
Peinture au minium (2 couches).	0.615	36.00	22.15	51.00	31.35	60.00	37.00	80.00	49.20	0f410 la 1re couche 0f205 la 2e couche
Fouilles	1.20	11 70	14.04	13.39	16.07	15.07	18.08	18.430	22.12	
Maçonnerie avec mortier.	19.00	6.44	122.40	7.375	140.10	8.30	157.70	10.168	193 20	
Chemin de roulement (fers et fontes).		683.80	137.45	964.10	193.85	1240.30	251.00	1614.70	324.68	
			869.20		1078.43		1298.89		1739.40	
Soit par mètre courant.			217.30		179.00		162.35		166.29	

longitudinal formé d'un fer en U noyé dans un madrier en bois. Ce guide s'étend sur une longueur double environ de la largeur du passage. La barrière en mouvement ou au repos est maintenue dans une position verticale par de petits galets attachés à des supports en fonte boulonnés sur chacun des trois doubles poteaux qui marquent les limites extrêmes de sa course. Pour la barrière la plus rapprochée de la maison de garde, le poteau-guide est remplacé par le premier poteau du garde-corps posé devant la porte de la maison. Un petit tasseau en bois, sur lequel la roue vient s'appuyer, limite la course de la barrière (fig. 142).

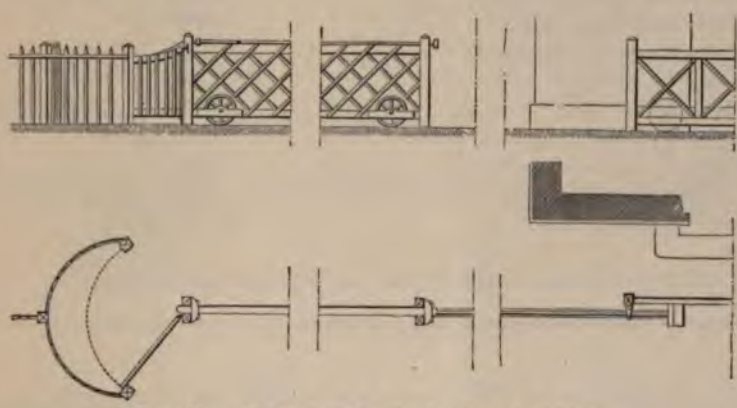


Fig. 142. — Barrière en fer et guichet accolé 1/100.

Au chemin d'Orléans, ces barrières ont les ouvertures et les poids suivants :

$4^m,50$. . .	300	kilogrammes
$5^m,25$. . .	332	—
$6^m,00$. . .	350	—
$7^m,50$. . .	405	—
$8^m,50$. . .	500	—

Elles ont été payées, à l'origine, à raison de 0 fr. 58 le kilogramme, non compris les frais de pose.

Les poids ci-dessus ne comprennent pas le chemin qui sert de guide. Celui que nous avons décrit est coûteux et serait économiquement remplacé par un système formé de deux rails ordinaires légers et placés sur de petites traverses.

La Compagnie du Midi a adopté sur certaines lignes le système des barrières roulantes analogue au précédent. Elle utilise, à cet effet, les bouts de rails Brunel retirés du service et comptés au prix de 10 francs les 100 kilogrammes; le prix de revient d'une barrière complète avec portillon, est de 350 francs non compris la pose, ce qui porte la dépense à 700 francs pour le

passage complet. Elle a récemment adopté un mode de fermeture très simple, et toujours efficace quelque soit le tassement des pièces ; ce type est indiqué dans la figure 128, page 235.

Devis des barrières roulantes du Midi

	Pour 4m d'ouverture		Pour chaque mètre en sus
Panneau roulant. — Poids du fer . . .	184k345		33k·150
Portillon	28.770		
Ferrures du poteau de battement. . . .	0.280		
Ferrures des poteaux guides	5.670		
Ferrure du poteau d'arrêt.	9.860		
Ferrure du chemin des galets.	10.011		
Fontes.	70.80		
Rails Brunel 9m650.	388.500	2m00	60k·00
Charpente en chêne, mètre cube. . . .	0.310093		0.072
Fouilles	1.551		0.104
Maçonnerie	0.648		
Ciment pour scellement	25.00		

Voici le prix de ces barrières pour les diverses ouvertures :

OUVERTURES	PRIX payé au fournisseur	VALEUR des matériaux fournis par la Compagnie	PRIX TOTAL
m	fr.	fr.	fr.
4,00	175,50	57,77	233,27
5,00	198,00	64,84	262,84
6,00	220,50	75,00	295,50
7,00	243,00	80,88	323,88
8,00	261,00	88,44	349,44

La Compagnie de l'Est a notablement réduit les poids et les prix de ces appareils. Les deux barrières, non compris les longuerines en bois qui portent les rails servant de voie aux galets, la pose et le transport reviennent à 416 francs.

En résumé, les barrières roulantes se substituent aux barrières à vantaux tournants, quand on peut leur donner suffisamment de légèreté.

112. — Passages sans barrière. — En Amérique on s'est dispensé de mettre des barrières aux passages à niveau qui ne présentaient pas

une circulation active. En Belgique, en Allemagne, en Grèce, en France mais plus rarement, la fermeture de ces passages est simplement opérée au moyen d'une chaînette en fer (fig. 143). La suspension de cette chaîne aux poteaux-limites du passage indique au public que la circulation à travers la voie est momentanément interdite. Cette défense est en général scrupuleusement respectée, ce qui n'a pas toujours lieu avec les barrières à vantaux les plus rigides.

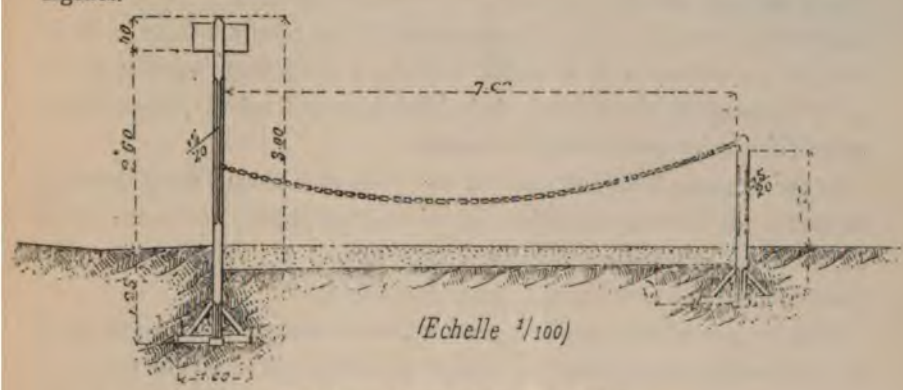


Fig. 143. — Barrière à chaînette 1/100.

Sans aucun doute, les populations parviendront à se familiariser de plus en plus avec les exigences de la police des chemins de fer ; aussi le temps n'est pas éloigné où l'on n'établira pas de barrières sur les lignes nouvelles en dehors des routes à circulation intensive.

Les lignes à faible trafic doivent éviter soigneusement toute dépense non justifiée, aussi sont-elles en France exemptées d'établir des barrières de passages à niveau. Le sifflet de la machine ou une cloche actionnée par le mécanicien prévient à temps du passage du train.

Nous donnerons ultérieurement — *Exploitation* — les résultats obtenus par l'application des signaux électriques destinés à mettre les gardes-barrières de passages très fréquentés en rapport les uns avec les autres, de manière à réduire au strict nécessaire le temps de fermeture des barrières et diminuer autant que possible la gêne que cette fermeture impose au public.

Pour donner satisfaction aux réclamations incessantes des habitants et aussi pour éviter les accidents, les Compagnies de chemins de fer ont établi en certains points à côté du passage à niveau des passerelles pour piétons.

Les lignes où le service d'exploitation reste suspendu pendant la nuit prennent quelques précautions contre l'introduction des bestiaux sur la voie dans l'obscurité.

A l'origine on fermait la voie à l'aide des barrières même des passages à niveau, disposées pour que les vantaux opposés puissent se rejoindre sur l'axe de la ligne, étant placés transversalement aux rails. Mais cette disposition a donné lieu à de nombreux accidents occasionnés par le passage inopiné d'une machine ou d'un train.

Pour échapper au double inconvénient de laisser la voie ouverte ou de la fermer par une barrière résistante, la Compagnie de Paris à Lyon et à la Méditerranée barre l'entrée de la voie à l'aide d'une clôture volante en fil de fer, que le garde avant de se retirer accroche à des poteaux mobiles placés après le passage du dernier train de la journée, et qu'il enlève quelque temps avant l'arrivée du premier train du matin.

Si par accident, le dernier train du soir réclame le secours de la machine de réserve par l'arrière, un tableau affiché au dépôt signale aux mécaniciens les points où se trouvent ces clôtures transversales et ils doivent s'arrêter pour les mettre de côté avant de poursuivre leur route.

C'est un moyen peu pratique et nous trouvons beaucoup plus topique celui de ne laisser partir les gardes que lorsque la machine de secours ne peut plus être attendue.

Nous estimons en tout état de cause qu'il est encore préférable de laisser la voie ouverte la nuit et de s'en rapporter à la visite qu'un cantonnier de chaque équipe doit faire de la partie de la ligne qu'il a à surveiller avant le passage du premier train.

CHAPITRE V

VOIE

§ I.

Systèmes divers.

113. — Considérations générales. — Nous avons déjà dit qu'une entreprise industrielle bien conçue devait s'efforcer de proportionner l'outillage à installer à l'importance des services à desservir et en harmonie avec les bénéfices espérés. Cette vérité élémentaire a malheureusement été oubliée dans bien des circonstances et nous avons vu des lignes appelées à desservir un trafic des plus restreints, établies en empruntant le programme imposé aux grandes Compagnies de chemins de fer à trafic important.

Constatons qu'une certaine réaction s'est produite et qu'aujourd'hui on paraît décidé à ne plus s'écarter de ce principe économique.

Rappelons donc que lorsqu'on a évalué les produits de la ligne projetée, qu'on a calculé les frais d'exploitation et établi les conditions financières de l'entreprise, on peut approximativement déterminer les dépenses probables de construction du chemin conçu suivant un type déterminé.

La comparaison du chiffre de ces dépenses avec celui des produits calculés, en démontrant la possibilité de réaliser l'entreprise projetée entraîne nécessairement l'établissement du programme d'exécution.

Si ces dépenses atteignent un chiffre en rapport avec les produits nets, il n'y a pas d'hésitation et le type généralement en usage est naturellement indiqué.

Or le point de départ de l'étude d'une voie, c'est l'écartement des rails, la largeur — *Spurweite*, *Gauge* — largeur déterminée par diverses circons-

tances qui se rattachent plus ou moins intimement au problème à résoudre (145-146).

Si le chemin de fer étudié n'a que quelques kilomètres de longueur de grandes facilités d'établissement, la voie ordinaire du pays s'impose *a fortiori*.

Si le chemin projeté doit dans un avenir plus ou moins éloigné passer dans la classe des lignes d'intérêt général et se rattacher à deux points du grand réseau territorial de manière à ouvrir à la grande industrie une circulation sans solution de continuité encore point d'hésitation : c'est le type ordinaire qu'il faut choisir puisque la nature et l'importance de son trafic en font un affluent de grandes artères et même un trait d'union ; d'autre part si les dépenses sont trop considérables pour le moment présent, il vaut mieux surseoir à l'exécution que de compromettre l'avenir, à moins que les populations pressées de jouir des avantages à retirer de la ligne, ne s'imposent des sacrifices pour compenser le défaut des produits immédiats.

Mais il n'en est pas de même quand le chemin doit vivre de sa vie propre, quand le trafic est restreint et le terrain plus ou moins accidenté. L'Ingénieur est alors contraint de rechercher parmi les exemples de voie étroite celui qui conviendra le mieux à chaque cas particulier en ne perdant pas de vue les relations futures avec d'autres voies construites ou projetées (147).

Un autre problème dont la solution ne laisse pas que d'offrir certaines difficultés, se pose aussi lorsqu'il s'agit de fixer la largeur de la voie à adopter pour le réseau des voies ferrées projetées dans un pays complètement dépourvu de ces moyens de communication, comme il en a été à l'origine pour l'Algérie, la Corse, l'Inde, Cuba, Porto-Rico, le Brésil, etc.

Les solutions n'ont pas été toujours heureusement choisies et rien qu'en Algérie n'est-il pas à regretter qu'une voie étroite unique n'ait été généralement acceptée.

La voie étroite d'abord écartée systématiquement tend actuellement à se répandre un peu partout, et en France, depuis la loi du 11 juin 1880 elle a acquis un développement remarquable, et presque tous les départements ont fait étudier un réseau local plus ou moins important à voie étroite ; en Espagne la question est à l'ordre du jour, une loi garantissant un minimum d'intérêt est en discussion aux Cortès et paraît devoir être votée.

D'autres pays nous ont d'ailleurs précédés dans l'adoption de voies de largeur réduite, citons la Suède et la Norvège.

Les principales objections soulevées contre l'adoption de la voie étroite étaient les suivantes :

1° La nécessité de *rupture de charge* avec toutes ses conséquences. Augmentation des frais occasionnés par le *transbordement*, *perte* ou *déchet* provenant de cette opération — *perte de temps*. — concurrence des transports par les routes de terre ;

2° La privation du matériel du grand réseau, et par suite nécessité d'augmenter le capital de premier établissement ;

3° Le mauvais emploi du matériel.

Examinons successivement chacune de ces objections.

Rupture de charge. Frais de transbordement. — Les avis sont partagés sur l'importance de ces frais, selon le point de vue auquel on se place, la dépense est indiquée comme devant s'élever de 0fr.,08 et 0fr.,10 jusqu'à 0fr.,80 et 0fr.,90 par tonne.

Dans le premier cas, on n'a fait entrer que la main-d'œuvre strictement employée à la manutention des marchandises, tandis que dans le second on comprend les dépenses de personnel, les manœuvres de vagons dans les gares, les frais de bureaux, de surveillance et les frais généraux.

Généralement quand on établit des calculs de cette nature, on opère sur des cas spéciaux et, selon les dispositions locales plus ou moins favorables, la facilité plus ou moins grande qu'offre la marchandise à transborder, les charges plus ou moins onéreuses qui pèsent sur le service d'une gare, on tombe dans l'une ou l'autre des évaluations précitées.

Nous croyons que la vérité se trouve, comme presque toujours, entre ces deux extrêmes, et nous en avons pour preuve l'expérience des grands réseaux français. Le règlement des frais accessoires approuvés par l'Administration supérieure (conformément aux prescriptions de l'article 51 du cahier des charges), porte pour frais de chargement au départ pour les marchandises transportées par vagon complet de 4.000 kilogrammes, 0fr.,30 par tonne et 0fr.,40 pour toutes marchandises sans condition de tonnage. Evidemment le premier de ces deux cas est seul en cause, car le passage des autres marchandises ne peut avoir lieu d'un embranchement sur une autre ligne que moyennant un transbordement, quelle que soit la nature du matériel employé, les Compagnies s'efforcent de rendre la taxe ci-dessus rémunératrice en passant des contrats d'entreprise de manutention dans leurs grandes gares au prix de 0fr.,15 à 0fr.,20.

En ce qui concerne les frais de manœuvre, d'écriture, etc. ; les Compagnies les comprennent sous la dénomination de *frais de gare* ; le règlement en question porte à ce sujet :

« Les droits de gare sont dûs dans tous les cas (excepté les marchandises pesant de 0 à 40 kilogrammes).

« Ces droits sont perçus pour les marchandises en provenance ou à destination des embranchements particuliers, savoir :

0fr.,20 à la première gare de départ située sur la ligne principale, et vice-versà.

0fr.,20 à la gare destinataire, et vice-versà.

« Il est perçu, en outre, aux gares de jonction d'un chemin de fer avec un autre chemin de fer concédé à une Compagnie différente, un droit de 0fr.,40 par tonne applicable par fraction, indivisible de 10 kilogrammes, et à partager par moitié entre les deux Compagnies pour les marchandises transitant d'une ligne sur une autre ».

Il ressort de ces dispositions que, quel que soit le type d'embranchement qui viendra se souder à une autre ligne, le droit de gare sera dû pour la marchandise. On ne peut donc pas mettre ces frais à la charge du type de voie étroite ou non.

Ainsi, pour une portion de marchandises, celle qui voyage par vagons incomplets, ce transbordement nécessaire a lieu aujourd'hui par les lignes d'un même réseau en vue d'utiliser le parcours des véhicules. Il a encore lieu quand une Compagnie ne veut pas laisser son matériel franchir certaines limites.

Sur la voie de $1^{m},44$, il y a peu de grandes gares de bifurcation qui n'ait sa halle de transbordement, et comme les frais de l'opération sont à la charge des Compagnies, ils sont justifiés par l'économie qu'elles trouvent dans la non-circulation du matériel vide et par l'intérêt majeur qu'elles ont à conserver généralement leur matériel sur leur propre réseau.

Quant aux marchandises arrivant par vagon complet, le transbordement ne sera pas une aggravation de dépense dans la plupart des cas, les compagnies pouvant y procéder si elles le jugent convenable pour des lignes de même voie.

La voie étroite, grâce à sa flexibilité, permet d'aller prendre la marchandise à sa source, dans la mine, au four, dans l'usine, à la ferme, partout enfin où la voie large ne peut pénétrer. La voie étroite loin d'être une cause d'aggravation de frais amène des économies dans le camionnage.

Cette objection ne subsiste pas d'ailleurs avec la voie de 1 mètre : les chemins de fer du Sud de la France, dont la voie a cette largeur, emploient des vagons-tombereaux à haussettes de 10 tonnes ayant une tare de 3.670 kilo-

grammes et dont les dimensions se prêtent aux mêmes transports que ceux de la voie normale.

Perte de temps. — C'est à peine si nous voulons relever cette objection : un délai de deux ou trois heures dans l'expédition d'un vagon. Ce délai est insignifiant, et l'on en trouve de bien plus onéreux dans l'exploitation des grandes lignes.

Pertes ou déchets au transbordement. — Par les dernières observations nous croyons avoir répondu d'avance à cette partie des reproches adressés à la voie étroite. A l'aide de dispositions spéciales à chaque nature de marchandises, on peut opérer ce transbordement de vagon à vagon, avec une perte extrêmement minime, insignifiante.

Concurrence des voies de terre. — Raisonnant toujours dans l'hypothèse qu'un chemin à grande voie n'est pas économiquement réalisable, il faut considérer le chemin de fer à voie étroite comme un procédé de camionnage économique et dès lors soumis aux inconvénients inhérents à ce genre de transport, mais aussi comme apportant des avantages réels. Ainsi, là où les chariots transportent à raison de 0 fr. 30 à 0 fr. 40 par tonne, le chemin de fer qui les remplace au tarif de 0 fr. 05 à 0 fr. 13 ne craint pas la concurrence, à la condition qu'il épouse très intimement les intérêts à desservir, qu'il se prête à toutes les combinaisons compatibles avec une bonne exploitation (*Exploitation, 3e partie*).

Privation du matériel de la grande ligne. — On a dit que le trafic de certains chemins, particulièrement de ceux destinés à transporter les produits du sol, étant sujet à de grandes variations, il y aura des époques où la petite ligne isolée des autres par sa voie, manquera certainement de matériel pour satisfaire aux besoins du moment.

Cette objection n'est pas plus applicable à la voie étroite qu'à la voie large et si elle a quelque chose de fondé, elle tourne à l'avantage de la voie étroite.

En effet, si la grande ligne doit satisfaire en même temps à toutes les demandes de matériel qui lui viendront à la fois de tous les embranchements de même voie, il lui sera impossible d'y suffire ; dès lors, il y aura des lignes complètement déshéritées. On a des exemples de ce fait tous les hivers. Les embranchements qui relient le réseau de Paris-Lyon-Méditerranée aux houillères de Saint-Etienne, ceux qui rattachent les houillères de Charleroi aux lignes de l'Etat Belge et du Nord manquent régulièrement de matériel aux approches de l'hiver. De là des plaintes nombreuses, des récriminations périodiques.

C'est pourquoi en France, en Angleterre, en Allemagne, les Compagnies donnent des encouragements et des facilités aux industriels riverains qui effectuent leurs transports sur leurs propres vagons; elles conservent ainsi leur matériel libre pour les transports généraux. Une ligne à voie étroite conservant son matériel, n'aura pas besoin d'en exagérer la quantité, elle ne verra pas ses stations encombrées de produits qu'elle pourra déposer à la gare de jonction où les vagons de la grande ligne pourront les enlever successivement, d'ailleurs les intéressés de la localité auront parfaitement les moyens de se pourvoir de vagons particuliers. Chaque industriel, chaque fermier, pour ainsi dire, pouvant se munir du nombre de véhicules en rapport avec ses besoins et sans frais importants, sera toujours sûr de pouvoir expédier sur la grande ligne.

On voit déjà que ces dispositions amèneront une grande réduction dans les dépenses d'acquisition et d'entretien du matériel; mais en admettant que le matériel roulant incombe en entier à la charge de la petite ligne, l'écart entre l'augmentation du capital de premier établissement qui résultera de cette nécessité et la diminution des frais de construction de la ligne à voie étroite comparativement à la voie large est tout en faveur de la voie étroite comme nous le verrons plus loin.

Mauvais emploi du matériel. — On a prétendu qu'il faut à une petite compagnie relativement plus de vagons qu'à une grande. C'est évidemment le cas où son matériel s'en va sur les grands réseaux, car il parcourt alors un plus long trajet pendant lequel il ne peut être utilisé par le service propre de la petite ligne.

Puis, comparant la durée du trajet d'un chargement sur la grande ligne à celle du transport sur la voie étroite, on est arrivé à conclure qu'il faudrait pour effectuer la même masse de transports quatre fois plus de vagons dans le second cas. — Si les mêmes errements devaient être suivis dans l'exploitation des lignes secondaires et dans les grandes lignes, probablement on verrait se reproduire les mêmes difficultés.

On sait en effet combien est ardue la tâche de bien répartir le matériel sur les grands réseaux, combien est faible le rendement moyen d'un vagon.

Ces difficultés ne se présentent plus sur les lignes à voie étroite. Là le service de l'exploitation connaît chaque jour les besoins locaux, la position de son matériel, le point où il faut le porter. D'ailleurs la capacité restreinte de ses vagons offre la garantie que leur chargement approchera toujours plus du maximum que sur le grand matériel. Leur faible tonnage permettra toujours de les faire partir sans délai, de les décharger avec promptitude et,

par conséquent, d'en tirer tout le parti possible avec le minimum de chômage.

En outre, en cas de réparations, le matériel aux ateliers présente un capital moindre, inactif quand il appartient à la voie étroite que lorsqu'il s'adapte à la voie large.

Enfin on reproche au matériel des voies étroites d'augmenter le rapport du poids mort des vagons au poids utile. Cette objection serait fondée si l'on devait subir les conditions du trafic ordinaire qui fait circuler un vagon de 10 tonnes avec un chargement de 2, 3, 4 et 5 tonnes.

Quant à sa constitution, comme il ne serait pas exposé aux avaries que subissent les vagons enchevêtrés dans les grands trains, le petit matériel, loin d'exiger un poids mort proportionnel à sa charge comparativement au matériel de la voie large, demanderait des dimensions de plus en plus restreintes et l'avantage du poids mort au poids utile serait encore du côté de la voie étroite.

Après avoir passé en revue et combattue toutes les objections soulevées contre les chemins de fer à voie étroite il faut en signaler tous les avantages.

En admettant toujours le cas d'un trafic restreint, les dépenses d'établissement d'un chemin de fer à voie étroite sont naturellement inférieures à celles d'un chemin à voie large.

Les adversaires de la voie étroite disent : les chemins de fer à voie de $1^m,450$ peuvent suivre les tracés des lignes à voie étroite, et par suite atteindre le minimum des terrassements ; et, partant de cette hypothèse, qui pèche par la base, comme nous allons le voir, ils arrivent à une insignifiante réduction de dépenses de 1.500 à 1.800 francs par kilomètre.

On sait que la résistance des trains dans les courbes augmente à mesure que diminue le rayon de ces courbes. On en a la preuve par la comparaison de la circulation des trains dans la traversée des Alpes, au Semmering et au Brenner, où sur le premier chemin, les courbes de 185 mètres de rayon, offrent aux véhicules une résistance presque double que celle qu'ils rencontrent sur le second chemin tracé avec des rayons minima de 300 mètres.

Dans leurs expériences sur les résistances sur les courbes, MM. Wuillemin-Guebhard et Dieudonné ont indiqué que, si on désigne par f le coefficient de résistance par tonne en alignement droit (pour les trains de marchandises),

Le coefficient en courbe de 1.000 mètres est $f + 1$;

— — 800 — $f + 1,50$.

Le coefficient f, étant d'ailleurs égal à 4,43 quand les courbes entrent

pour moins de $\frac{20}{100}$ dans les longueurs totales, à 4,70 quand les courbes entrent pour 20 à 50 %; enfin, à 5,12 lorsque les courbes comptent pour plus de 50 %, et cependant un vagon peut circuler sur les voies de l'Est avec un rayon de 444 mètres sans qu'il y ait frottement ni glissement du boudin contre les rails écartés de 1^{m},447 entre les bords.

Il est d'ailleurs facile de s'assurer par le calcul, ou par une étude graphique, que le glissement des bandages et le frottement des boudins, pour un même écartement d'essieux parallèles, gagnent en amplitude à mesure que diminue le rayon de la courbe.

Ainsi, les chemins à voie large ne peuvent atteindre la limite inférieure de rayon de courbure des voies étroites sous peine de danger dans la circulation ou d'augmentation notable des frais de traction. Or, cette dernière considération est très importante; les chemins en question sont, en général, difficiles à exploiter, en raison de leurs conditions topographiques et de la nature même de leur tracé. Il faut donc s'efforcer de diminuer les résistances à vaincre par les machines, car, plus grandes sont ces résistances, plus grand devient l'effort de traction des locomotives, plus grand aussi leur consommation et leur entretien, plus grand encore leur poids qui donne l'adhérence, et enfin le poids des rails. Tout se lie en matière de chemin de fer, et c'est par une juste pondération de tous les éléments combinés qu'on résoud le problème dans chaque cas particulier.

Ainsi la voie étroite convient seule pour les chemins de fer à faible trafic et les tracés bien tourmentés : la plupart des lignes secondaires rentrent dans ce cas.

Nous avons vu, en effet, que le plus souvent le trafic sera restreint, du moins pendant bien des années, et que dès lors un chemin de fer ne pouvait vivre qu'à la condition d'exiger un faible capital de premier établissement. L'exemple des mines de Champagnac (Cantal), qui pouvaient être reliées au réseau général à l'aide d'un chemin à petite voie, évalué à 110 000 francs par kilomètre, tandis qu'une ligne à grande voie aurait coûté 400 000 francs par kilomètre, est assez frappant pour nous autoriser à conclure qu'il ne faut pas hésiter à choisir la voie étroite quand les conditions de la voie large rendent impossible l'établissement immédiat d'un chemin à grande section.

Et que l'on ne croie pas les chemins à petite voie incapables de satisfaire aux exigences d'un trafic important, soit en voyageurs, soit en marchandises. Citer les chemins d'Anvers à Gand, de Commentry à Blanzy, du Festiniog, de l'Exposition de Paris en 1889, d'Australie, de Broelthal, de San-Domingo, etc., c'est répondre victorieusement aux objections de cette nature.

Nous donnons plus loin les détails de construction de ces divers chemins.

Constatons en terminant qu'en France les départements, désireux de posséder un réseau propre de voies économiques destinées à desservir certaines contrées, certaines agglomérations dédaignées par les grandes lignes, en raison de la faiblesse du trafic ou des dépenses de construction, ont décidé l'établissement de ces lignes d'intérêt local à la voie étroite, et généralement ont adopté la largeur de 1 mètre.

114. — Classification. — La voie proprement dite d'un chemin de fer se compose de deux éléments principaux : *a*, les rails ; *b*, le lit de pose, la fondation essentiellement destinée à répartir la pression reçue par les rails sur l'infrastructure, et à soustraire les rails aux réactions que la base du chemin exerce contre eux.

Les rails peuvent reposer, soit directement sur leur fondation, soit à l'aide de supports intermédiaires. Le but des supports est de maintenir les rails dans une position assignée, et en outre de répartir, sur la plus grande surface possible, la pression exercée sur les rails par les véhicules. De là une distinction à établir entre les voies . 1° voies à supports ; 2° voies sans supports.

La première de ces deux catégories peut à son tour se décomposer en trois classes, d'après l'espèce de supports adoptés : *supports isolés — supports conjugués — supports continus.*

D'après ces considérations, tous les systèmes de voie rentrent dans l'une des quatre classes que nous allons étudier sous les rubriques suivantes :

Première classe. — Voies à supports isolés, c'est-à-dire rails sur dés en pierre, cloches en fonte, plateaux en bois, plateaux en fer.

Deuxième classe. — Voies à supports conjugués, c'est-à-dire rails sur traverses en pierre, en bois, en fer ou en acier.

Troisième classe. — Voies à supports continus, c'est-à-dire rails sur longuerines en bois, sur longuerines en fer ou acier.

Quatrième classe. — Voies sans supports, c'est-à-dire rails sur ballast.

PREMIÈRE CLASSE. — *Voies à supports isolés.*

115. — Rails sur dés en pierre. — Quand les anglais abandonnèrent le système de voie en longuerines de bois garnies de bandes de fer, pour employer les rails en fonte soit sous forme de platines légèrement con-

caves, soit sous forme d'ornières (fig. 144 *abc*), ils fixèrent directement les extrémités de ces rails avec des clous en fer enfoncés dans du bois (fig. 145),

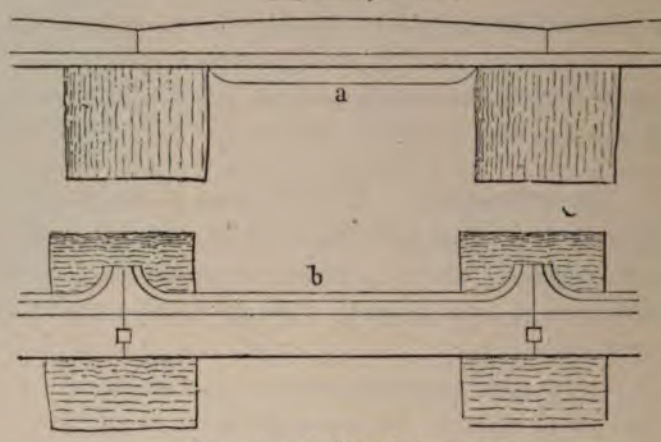


Fig. 144. — Rails en fonte-ornière.

sur des blocs de pierre ou dés scellés dans la plate-forme de la route. Plus tard ces ornières — *Tram-rails, plat-ways* — furent remplacées par des barres de fonte en lame saillante — *edge-rails* — (fig. 146 *m*), qu'il fallait maintenir dans leur position verticale. On se servit à cette effet de coussinets en fonte — *chairs* — (*n*, *n*), sorte de selle renversée, qui se fixe sur le dé et qui reçoit dans le vide ménagé entre ses deux ailes la tige du rail consolidée dans le coussinet par une clavette ou un coin (fig. 146).

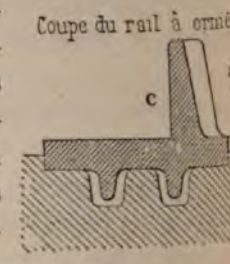


Fig 144.

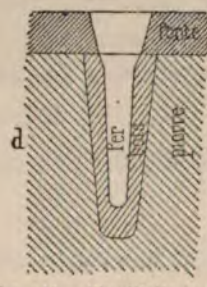


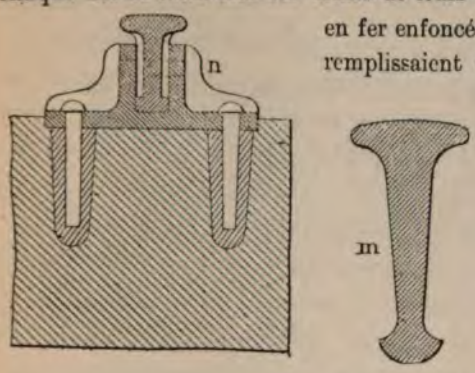
Fig. 145.—Chevillette en fer

Les dispositions semblables se sont conservées jusqu'ici, depuis la substitution des rails en fer laminé aux rails en fonte. Les premiers rails laminés avaient la forme d'égale résistance analogue à celle donnée en dernier lieu aux rails en fonte (fig. 147). Nous verrons plus loin (127-180) les avantages et les inconvénients de ce système d'attache des rails.

Les premières lignes à grand trafic ont été construites sur dés en pierre, Saint-Etienne à Lyon, Liverpool à Manchester, Greenick, Londres à Birmingham, Nuremberg à Furth, Taunus-Bahn, chemins bavarois, etc. (fig. 147).

La plate-forme des terrassements étant arrasée, on y creusait pour chaque

voie deux sillons de $0^m,60$ environ de largeur et de profondeur, dans l'axe de chaque file de rails. Les dés armés de leurs coussinets fixés par des broches en fer enfoncées dans des chevilles en bois qui remplissaient des trous percés dans la pierre, se plaçaient dans ces sillons, y étaient alignés et nivelés dans la direction voulue, puis assujettis dans leur position par un bourrage de pierrailles et de terre retirée des tranchées.



Ce système fut assez promptement abandonné, parce qu'il présentait trop de raideur au roulement, trop d'instabilité dans la position relative des deux files de rails. Cependant comme il offre certains avantages économiques, quelques chemins allemands, après y avoir apporté d'heureuses modifications l'ont maintenu avec persévérance. On trouve encore aujourd'hui de l'autre côté du Rhin des voies posées sur dés en pierre.

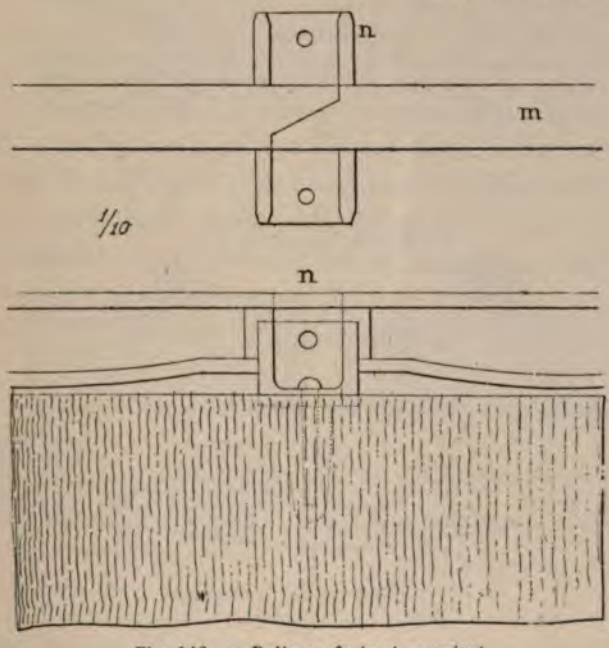
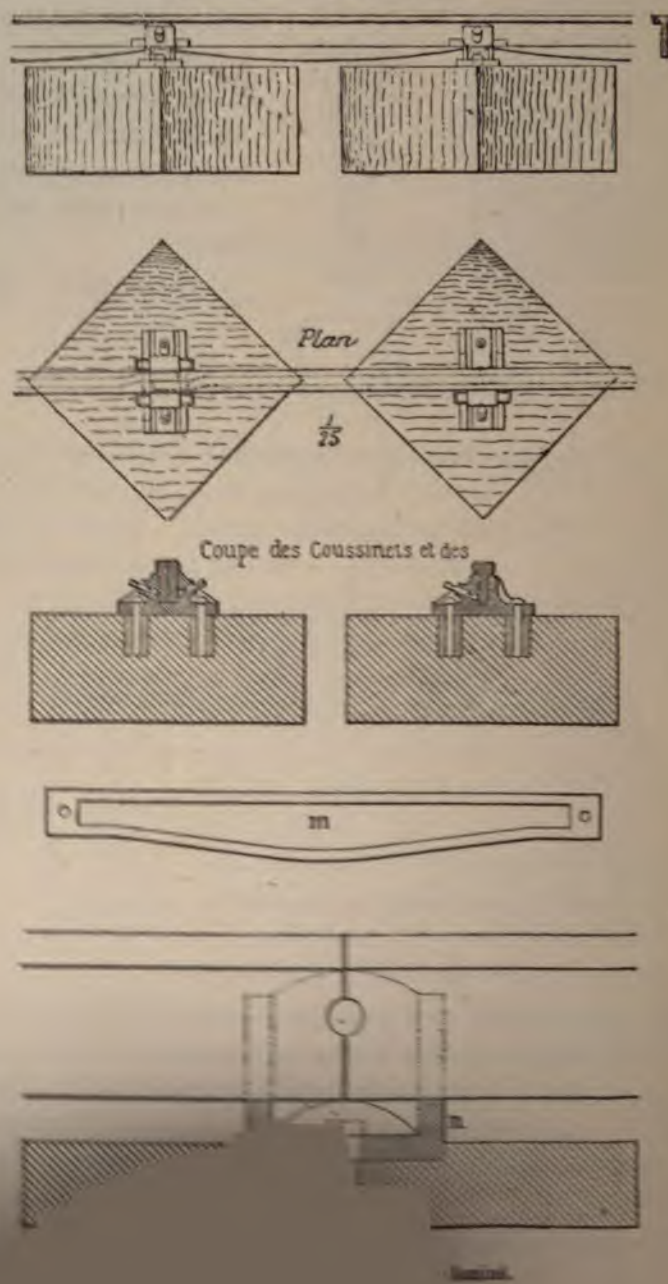


Fig. 146. — Rails en fonte et coussinet.

Dans la plupart de ces applications, le dé en pierre est simplement enfoui

dans le ballast et bourré comme une traverse en bois. Sur les chemins du Wurtemberg un essai de pose sur dés en béton a bien réussi. La couche de

Rails ondulés en fer laminé



béton a $0^m,20$ d'épaisseur et 1 mètre de largeur ; le tout est recouvert de ballast.

Appelée à se prononcer sur le système de pose sur dés en pierre, la réunion des ingénieurs allemands n'admet cette disposition que dans les parties de voie reposant sur le sol naturel ou bien sur des remblais assez vieux pour offrir toute garantie contre les tassements, et là où l'écoulement des eaux n'éprouve aucun obstacle.

En ligne droite, ou dans les courbes de grand rayon, il est inutile de se prémunir contre les changements de largeur de la voie ; mais dans les courbes de rayon inférieur à 750 mètres, il y a des précautions à prendre. En Bavière on pose les joints des rails sur traverses en bois. Cette précaution ne nous paraît pas indispensable ; on pourrait conserver la pose sur dés sur toute la ligne et prévenir le changement de position à l'aide d'entretoises en fer réunissant les dés de joint par deux colliers en fer.

Lorsqu'on maintient les rails à l'aide de coussinets, ceux-ci ne reposent pas directement sur la pierre, mais sur une plaquette de bois, de feutre ou de carton goudronné. En substituant le rail à large base au rail double champignon, le coussinet disparaît. Mais alors le roulement est dur, la pierre s'use sous le rail et réciproquement. Le chemin du Taunus échappe à ces divers inconvénients, en plaçant une semelle en bois de $0^m,105$ sur $0^m,020$ enchassée dans une rainure de $0^m,010$ ménagée sur la face supérieure du dé (fig. 148).

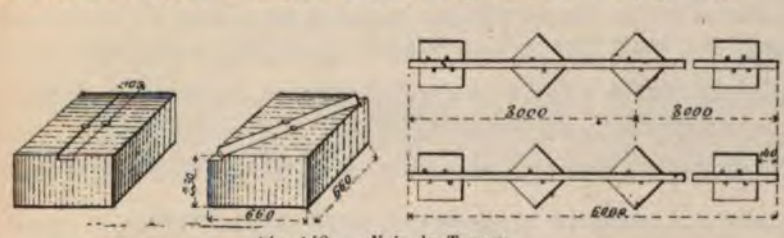


Fig. 148. — Voie du Taunus.

Enfin pour augmenter la portée du rail sur le dé, et la résistance de la pierre au renversement latéral, on place le dé en diagonale sous un rail de 6 mètres dont le joint est en porte-à-faux il se trouve trois dés intermédiaires posés en diagonale et deux dés, ceux voisins du joint, posés normalement.

116. — Rails sur blocs en bois. — La voie de Jamaïca à Brooklin (Long-Island, Etat de New-York) dans un développement de 19 kilomètres a été primitivement établie sur dés en bois. Sous chaque file de rail,

on plaçait des bois debout, espacés de 1 mètre de centre en centre, mesurant $0^m,30$ de diamètre et un mètre de longueur, et le gros bout reposant sur le sol naturel. Quand tous les blocs étaient convenablement alignés on damait les terres autour de chaque bloc, puis on les sciait à la hauteur voulue. De deux en deux blocs, on accouplait ceux d'une file au symétrique de l'autre file à l'aide d'une barre de fer plat retenue par des crampons. Puis la tête de chaque bloc bien dérasée, et couverte d'un enduit gras étendu à chaud, recevait directement le patin d'un rail à large base fixée par des crampons.

Ce système est défectueux car les attaches du rail ne tiennent pas dans le bois debout.

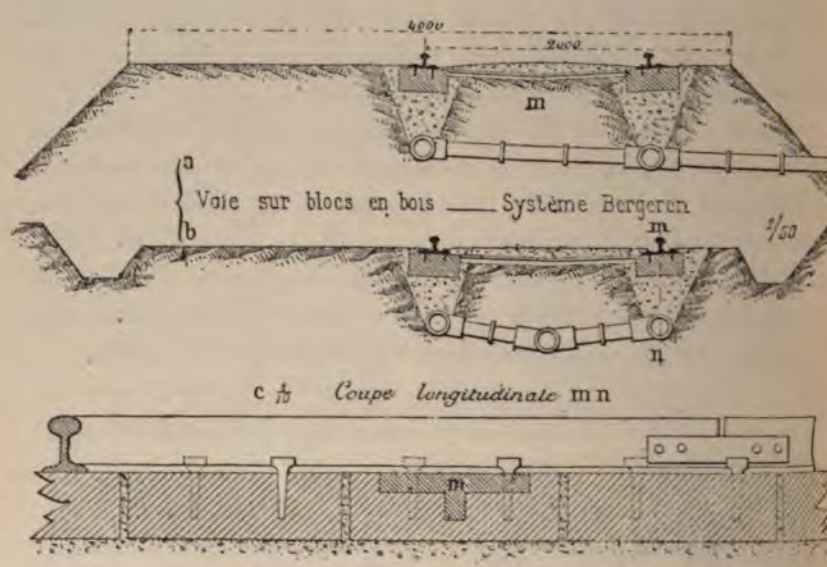


Fig. 149. — Voie sur blocs en bois, système Bergeron.

Un ingénieur français, M. Bergeron, directeur du chemin de la Suisse occidentale, a eu l'idée de supporter les rails à l'aide de pavés en bois placés les uns contre les autres sur des murs de ballast damé dans des fossés creusés sous la couronne des terrassements (fig. 149). Le but de M. Bergeron est de réduire les frais de premier établissement et d'entretien en diminuant le poids du rail, se rapprochant ainsi du système américain primitif, mais s'en éloignant par la continuité de support et la facilité que son système procure sous le rapport de l'emploi des rails courts et du bois, les pavés pouvant se trouver presque partout à bas prix.

Dans son projet primitif M. Bergeron reliait les deux files de rails à l'aide d'entretoises en fer; mais à la suite d'objections sur la faible distance qui resterait entre l'entretoise et le boudin des rails, M. Bergeron propose d'entretoiser la voie par des fers à T, *m*, *m*, noyés dans les blocs de bois en dessous du patin des rails (fig. 149 *c*).

Ce système de voie serait très économique, surtout pour les lignes où l'on pourrait se servir de rails de toute longueur, mais il y a lieu de craindre une certaine instabilité si la circulation est tant soit peu active même sans vitesse importante.

117. — Plateaux-coussinets en fonte. — En 1847, le chemin de fer de Versailles (rive gauche) fit l'essai — 100 mètres de longueur — d'un système de voie composé de rails à double champignon fixés sur des coussinets-plateaux en fonte. Ces coussinets-plateaux, leur nom l'indique, se composaient du coussinet ordinaire venu à la coulée avec un plateau de $0^m,013$ d'épaisseur. Les plateaux de joints ayant $0^m,40$ de longueur et de largeur pesaient 27 kilos. Les plateaux intermédiaires mesuraient $0^m,30$ de longueur sur $0^m,40$ de largeur, avec un poids de 19 k. 50. Chaque plateau de l'une des files de rails se reliait au plateau voisin de l'autre file à l'aide d'une tringle en fer de 2 centimètres de diamètre.

Ce système de pose inventé par M. Henri fut essayé par d'autres chemins entre autres celui de Paris à Strasbourg, — 200 mètres de voie ; — mais il ne répondit pas aux espérances que l'on avait fondées sur cette disposition Malgré la précaution que l'inventeur avait prise de faire venir à la coulée un croisillon sous la face inférieure du plateau, la voie se rétrécissait, se déplaçait trop facilement en tous sens, réclamant une main-d'œuvre d'entretien incessante et très dispendieuse.

118. — Calottes sphériques en fonte. — M. Greave a proposé et fait employer des supports disposés en forme de calotte sphérique, portant comme les plateaux Henri un coussinet venu de fonte sur lequel se fixe le rail. La calotte est percée d'un trou par lequel on opère le bourrage du support et le dressage de la voie.

Chaque support est réuni à son symétrique de la file voisine à l'aide d'une entretoise en fer (fig. 150).

Ce système employé sur la ligne du Lancashire-Yorkshire ne s'est pas étendu en Europe ; mais il a reçu des applications dans certains pays chauds ligne de Suez à Alexandrie ; chemins des Indes ; dans l'Amérique du Sud. Il

$0^m,90$ sur le reste de la longueur du rail ; chaque couple est entretoisé par une cornière de $0^m,06$ sur $0^m,04$ pesant 9 kilogrammes (fig. 151).

L'idée de diviser le plateau en cellules semblerait bonne si l'on pouvait faire le bourrage en tous les points ; mais il est à craindre que la pression

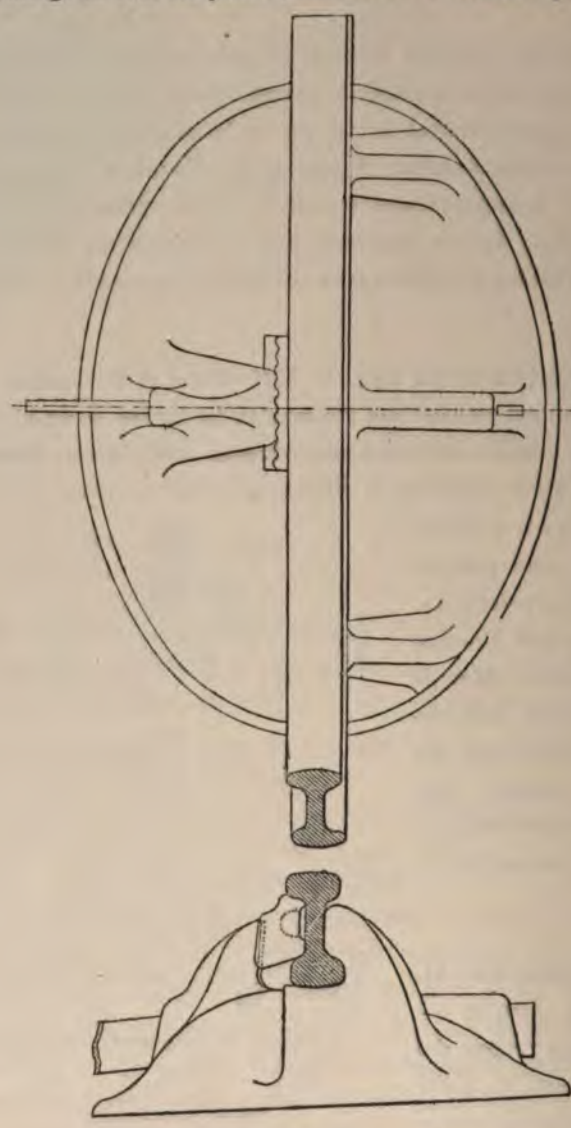


Fig. 152. — Traverse-cloche James Livesey.

ne soit pas égale partout, que des vides ne s'y manifestent et qu'enfin l'ensemble pêche par défaut de masse.

123 — Calottes Livesey. — Les supports en fonte Livesey se rapprochent beaucoup des précédents ; ils se font pour la voie à double champignon et pour la voie Vignoles (fig. 152).

La calotte a une base ovale dont le grand axe est disposé suivant l'axe du rail, la partie supérieure porte trois nervures entre lesquelles le rail est serré à l'aide d'un coin métallique. Les deux files de calottes ou cloches sont réunies au moyen d'un fer plat posé de champ et faisant entretoises. Un essai de cloches à base rectangulaire a aussi été fait.

La surface d'appui des cloches dépend évidemment de la charge des trains, sur des voies normales à grand trafic le poids des cloches varie de 45 à 50 kilogrammes sur les voies étroites il est compris entre 25 et 40 kilogrammes.

Comme métal on a employé la fonte, la tôle et même la tôle d'acier.

Ce système peu répandu en Europe a reçu un certain nombre d'applications au Mexique, dans la République Argentine, dans l'Inde, en Égypte etc.

Il présente les avantages et les inconvénients du précédent. Il n'offre notamment qu'une médiocre résistance aux tassements inégaux de la voie qui peuvent se produire sur chacune des files de rails.

124. — Cylindres — Coussinets en fonte. — Plus heureux que certains des précédents le système Griffin est appliqué sur différents chemins d'Angleterre et de l'Amérique du Sud. Le rail est supporté par un coussinet venu de fonte avec une base ayant la forme d'un demi-cylindre allongé creux, fermé aux extrémités par une cloison venue également de fonte (fig. 153).

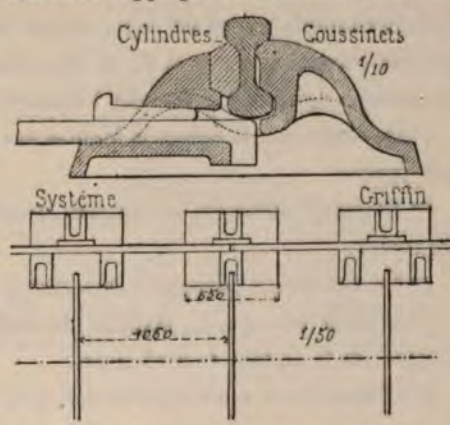


Fig. 153. — Cylindres-coussinets.

Les couples de supports sont entretoisés par un fer cornière pesant 7 k. 300. Tous les cylindres ont $0^m,42$ de largeur, les intermédiaires $0^m,70$ et ceux de joint $0^m,85$ de longueur. Sous chaque rail de 6,40 se placent 6 supports, les joints, étant éclissés en porte-à-faux. Pour compenser l'excédant de frais entraîné par l'adoption de cette cloche pesante ; M. Griffin avait réduit le poids de son rail, ramené à 26 kilogrammes par mètre. D'après cela le prix de revient de la voie s'établissait ainsi pour $6^m,40$:

2 rails	352k8 à 20 fr.	= 70fr55	
4 éclisses	8 00 à 20	= 1 60	
8 boulons, 8 clavettes	2 00 à 40	= 0 80	
12 supports en fonte.	384 00 à 15	= 57 60	
6 entretoises en fer	43 80 à 25	= 10 95	
12 coins en bois		1 20	
12 coins d'entretoises.		0 40	
	Total. .		143fr10
Soit pour 1 mètre $\frac{143,10}{0\ 64}$		= 22fr36	

Si les points d'attache du rail étaient ainsi éloignés d'un mètre, le poids du rail serait trop faible pour une ligne à fort trafic ; mais on aurait pu soulager le rail en doublant le nombre de ses points d'attache aux cylindres, et alors on aurait l'inconvénient des demi-longuerines qui en s'affaissant vers l'extrémité de la première engagée sous les roues se soulèvent à l'autre extrémité et ébranlent ainsi leur assiette.

Dés en fer. — On pourrait ranger dans cette catégorie le système proposé par M. Legrand, de dés en fer profilé suivant la section qu'il donne à ses traverses en fer (151).

125. — Éclisses-tables. — M. Mazilier a proposé en 1862, de soutenir le rail à deux champignons au moyen d'éclisses faisant cornières dont l'aile horizontale repose sur le ballast, les files de rails parallèles étant réunies par des entretoises en fer à T, et des boulons à écrou. D'après l'inventeur, ce système devait avoir sur tous les autres les avantages suivants :

1° De supprimer le bois et la fonte et par conséquent d'assurer une plus longue durée ;

2° D'obtenir au besoin un support continu en rapprochant toutes les éclisses-tables ;

3° De donner un éclissage irréprochable ;

4° D'offrir une grande stabilité résultant du rapprochement de la surface d'appui, de la surface de roulement ;

5° D'admettre le retournement des rails, etc., etc.

Ce système manque évidemment de stabilité et sous le passage de machines lourdes il doit certainement onduler, il est aussi d'un prix élevé.

126. — Résumé. — En exceptant le système des dés en pierre dont la grande masse absorbe les chocs du matériel roulant mais qui offre assez d'inconvénients pour ne pas se répandre, tous les supports isolés résolvent incomplètement le pr[illegible] [illegible]ent être recommandés.

DEUXIÈME CLASSE

Voies à supports conjugués.

127. — Rails sur coussinets en fonte et traverses en bois (1). — Tandis que les ingénieurs européens continuaient à fixer les supports en fonte des rails sur les dés en pierre, les américains, renonçant à ce mode de construction, posaient les supports sur des pièces de bois couchées transversalement à l'axe de la voie, soit sur deux petits massifs en maçonnerie, soit sur des longuerines en bois, soit enfin sur le terrain naturel. C'est ainsi qu'a été construite en 1833 la voie du chemin de fer de Boston à la Providence, primitivement projetée avec dés en pierre.

Dans ce système, les rails sont encore supportés par points espacés d'une certaine distance, mais ces points ne sont plus complètement isolés les uns des autres ; les deux files de rails deviennent solidaires par l'intermédiaire de traverses qu'accouplent deux à deux le point de support.

En réunissant les deux files de rails, les traverses en bois, par la raideur que donnent leurs dimensions transversales, répartissant la pression des rails sur une large surface, conservent à la voie l'écartement et l'inclinaison voulus, et par l'élasticité de leur constitution amortissent très heureusement les choc des véhicules. Elles se prêtent tout particulièrement à la pose de la voie sur terrassements, et facilitent ainsi le transport du ballast au lieu d'emploi (fig. 154).

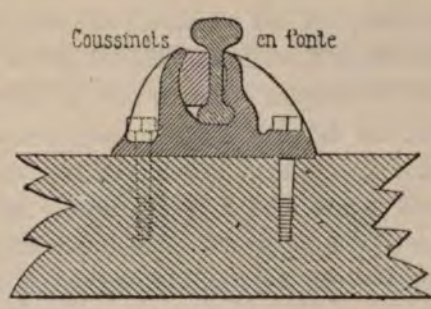


Fig. 154. — Coussinets en fonte

Enfin, une fois en place, elles font corps avec une masse considérable de ballast, lui transmettant une partie des vibrations que les rails ont reçu des véhicules, et contribuent grandement au maintien de la voie en bon état.

Cette disposition de voie a été, dès l'origine, adoptée par la grande géné-

(1) Ne parlerons pas d'un essai de traverses en pierres fait en quelques pays, notamment, parce que cet essai n'a pas eu et ne devait pas avoir de suite et qu'il n'a au-Pour qu'une pierre de la longueur d'une traverse eût la raideur nécessaire, il donner des dimensions transversales incompatibles avec les nécessités de l'emploi.

ralité des chemins français et anglais, et a conservé encore la préférence de certaines Compagnies françaises et de la majorité des lignes de la Grande-Bretagne.

Le système d'établissement de voie posée sur traverses est le plus généralement employé, et jusqu'à présent il a fourni les meilleurs résultats : les traverses donnent à la voie une grande surface d'appui et facilitent l'écoulement des eaux à travers le ballast par une sorte de drainage ; elles maintiennent assez médiocrement l'écartement et l'inclinaison des rails ; mais avec elles la voie est moins difficile à relever qu'avec les dés et les longuerines.

La construction d'une voie sur traverses en bois exige, comparativement au système de pose sur longuerines, l'emploi d'un cube de bois plus considérable. Les rails fixés seulement sur des supports discontinus doivent présenter une plus grande résistance et par conséquent, un poids plus considérable. La déflexion aux joints est généralement plus sensible qu'avec les longuerines et la voie est plus cahotante pour les voyageurs.

L'un des défauts les plus marqués et les plus importants des différents systèmes de supports isolés ou conjugués est le manque de résistance aux oscillations latérales des véhicules en roulement appelées mouvements de lacet. Cet effet se manifeste surtout lorsque la vitesse des trains est considérable.

Ces oscillations sont dues à des causes diverses, inhérentes soit à la voie elle-même, soit aux véhicules, soit enfin aux machines-locomotives soumises à des efforts alternatifs développés par le mouvement même de leur mécanisme, et croissant comme le carré de la vitesse de rotation des essieux moteurs. Les dés en pierre, sans lien entre eux d'un côté à l'autre de la voie, sont exposés particulièrement, comme nous l'avons dit, à subir l'effet de ces causes de perturbation. Le système des longuerines, réunies à des intervalles assez rapprochés par des pièces de bois transversales, résiste mieux qu'aucun autre système, il est employé régulièrement aux points délicats de la voie, aux changements et croisements de voies. Les traverses subissent d'une manière très fâcheuse l'effet des mouvements latéraux des véhicules ; elles se déplacent transversalement à l'axe de la ligne et la voie prend une forme ondulée. Les chevilles en bois enfoncées dans les traverses s'usent, s'ébranlent et prennent du jeu ; l'eau s'infiltre dans le bois et l'attache perd toute solidité.

Nous verrons plus loin — *Locomotion* — que, grâce aux observations et aux indications de MM. Nollau, Le Chatelier et Yvon Villarceau, membre de l'Institut, on peut atténuer notablement l'effet du mouvement oscillatoire

des pièces du mécanisme des locomotives en les équilibrant avec soin. Mais la voie n'en laisse pas moins encore à désirer.

Le défaut principal des voies, avant l'application des éclisses spécialement pour les voies posées sur traverses, était la mobilité des joints due à la flexibilité des rails dans tous les sens, surtout sous l'action des trains à grande vitesse ; avec le coussinet ordinaire, le rail en se courbant lorsque la roue d'un véhicule arrive au joint ne porte plus que sur l'arête du coussinet et tend à déverser la traverse ; lorsque la roue a dépassé le joint, l'effet inverse se produit et la traverse tend à se déverser en sens contraire. La traverse ainsi sollicitée par chacune des roues du convoi, et simultanément à ses deux extrémités tend à prendre un mouvement d'oscillation autour de son axe, et arriverait promptement à un état de mobilité très marqué si l'on négligeait de resserrer fréquemment les coins et de bourrer le ballast sous ses extrémités. On remarque de plus que la flexion du rail fait sauter les roues au-delà du joint, surtout à grande vitesse ; qu'il en résulte une série de chocs qui font prendre à la traverse une position constamment inclinée dans le sens de la marche, tout en détériorant les extrémités des rails et qu'enfin cette inclinaison des traverses produit une dénivellation des rails, le *devers*, qui aggrave encore l'effet produit par la flexion. Nous verrons plus loin (§ II) quelles sont les précautions que l'on prend pour atténuer autant que possible ces divers mouvements.

128. — Rails sur coins et traverses en bois. — Dans le but de soustraire les rails aux détériorations que le coussinet en fonte produi

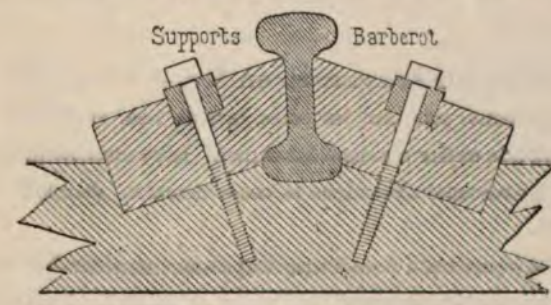


Fig. 155. — Support Barberot

sur le champignon inférieur. M. Barberot proposait de supprimer le coussinet, et de soutenir le rail à l'aide de deux coins en bois placés debout contre le rail, et retenus sur la traverse par des vis pressant leur pied dans une entaille (fig. 155). Très favorablement accueilli par plusieurs lignes françaises,

le système de M. Barberot, ne tarda pas à montrer ses inconvénients résultant du défaut de dimensions de ses coins, de la difficulté de les maintenir en serrage par tous les temps, notamment aux joints des rails où les assemblages étaient le plus éprouvés.

129. — Rails sans coussinet sur traverses en bois. — La conformation du rail à large base a bientôt démontré l'inutilité du coussinet d'attache, et depuis longtemps ce rail s'appuie directement sur la traverse, ou tout au plus pose sur une semelle ou selle en fer interposée (189).

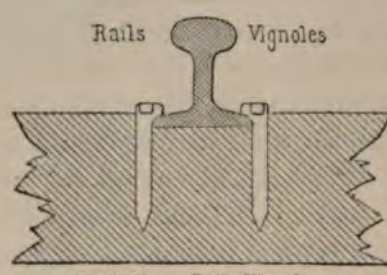


Fig. 156. — Rails Vignoles.

Employé d'abord par Mason-Patrick à Boston en 1833, puis importé d'Amérique en Europe par M. Charles Vignoles en 1836, le rail à large base fut à l'origine appliqué sur longuerines en bois; mais cette première disposition, entachée d'un vice radical (189), fit place à la pose des rails sur traverses, adoptée aujourd'hui par la presque totalité des chemins de fer. Réduction des frais de premier établissement, simplicité de pose, facilité d'entretien courant, tels sont les avantages de ce système qui prend chaque jour plus d'extension (fig. 156).

Les paragraphes suivants renferment tous les détails de construction relatifs à ce genre de voie; nous ne nous étendrons donc pas plus longuement sur ce sujet.

130. — Rails sur traverses en fer. — *Conditions générales.* — Le développement pris par les voies ferrées non seulement en Europe mais dans le monde entier a amené fatalement le renchérissement des bois : à mesure que les réseaux s'étendent la consommation s'accroît et les forêts se dégarnissent.

A certaines époques on a donné une impulsion considérable aux travaux de chemin de fer, particulièrement en France, et les prix des traverses en bois ont atteint des chiffres tellement élevés qu'on a dû se préoccuper de leur substituer des traverses en fer ou en acier.

Si les traverses en bois satisfont à la plupart des exigences [illegible] pour la constitution d'une bonne [illegible] conditions d'emploi qu[illegible]

renouvellement périodique très onéreux. Toutes les précautions prises pour retarder la destruction du bois (chap. VII), n'offrent pas encore une certitude bien établie sur la durée de la prolongation du temps de service obtenue à l'aide des divers procédés de préservation.

La question de l'adoption de la traverse métallique se pose dans deux cas distincts suivant qu'il s'agit d'un chemin de fer à établir ou d'un chemin de fer en exploitation.

Dans le premier cas il est essentiel de réunir soigneusement, et sans parti pris, toutes les données du problème et la décision ne doit être arrêtée qu'après un examen sérieux de tous les éléments de la question.

Certaines lignes étant appelées à parcourir des régions dépourvues complètement de forêts contenant les essences convenables, l'entretien de la voie sera difficile et coûteux; ou bien, il s'agit d'un chemin de fer stratégique à établir pendant les hostilités (Tunisie, Turkestan) ou bien les bois injectés ou non ne résistent pas à l'influence du climat ou du sol, etc., etc., Dans ces diverses hypothèses, l'adoption d'une traverse métallique sera tout indiquée.

Dans le deuxième cas on pourra se trouver en présence d'une ligne à trafic intensif desservant une région métallurgique pour laquelle les remplacements des traverses en bois peuvent présenter certaines difficultés, la vitesse et la charge des trains atteignent leur maximum etc.; on pourra encore utilement rechercher si l'adoption d'une traverse métallique n'offre pas de sérieux avantages.

Mais pour que la substitution du métal au bois soit acceptable il faut :

1° Que les traverses en fer ou acier offrent des conditions de stabilité au moins égales à celles données par les traverses en bois.

2° Que le prix de premier établissement ne grève pas le présent d'une dépense trop grande, en vue d'une diminution encore incertaine dans les frais de renouvellement.

3° Que l'entretien journalier, avec toutes les exigences de facilité de réparation en cas d'accidents, ne présente pas plus de difficultés que l'entretien de la voie posée sur traverses en bois et ne soit pas plus coûteux.

1° Sous le rapport de la *forme*, on recherche la disposition la plus convenable pour assurer aux rails une base d'appui correspondant à la pression verticale des véhicules; une surface transversale suffisante pour combattre la tendance au déplacement dans le sens de la marche des trains, tendance qui croît avec la vitesse des véhicules et le degré de pente de la voie, enfin un moyen efficace d'empêcher le glissement latéral, principalement dans les sections de voie en courbes.

2° Touchant les frais de premier établissement, on ne peut les rapprocher du coût des traverses en bois que par l'abaissement du prix du métal, la réduction du poids, la simplicité du mode d'attache et la facilité de fabrication.

Les progrès récents de la métallurgie ont résolu cette dernière partie du programme pour la plupart des profils à l'essai.

Les avantages financiers que l'on espère trouver dans l'application des traverses métalliques doivent faire l'objet d'une étude spéciale dans chaque cas particulier. Il ne saurait être établi de règles absolues à cet égard car les prix auxquels les traverses métalliques sont descendus leur permettent de lutter avec les traverses en bois dans beaucoup de contrées.

Dans les pays métallurgiques on a essayé un grand nombre de types de traverses métalliques en vue de développer une importante industrie nationale.

M. Meyer, ingénieur en chef de la voie à la Compagnie des chemins de fer de la Suisse occidentale et du Simplon, établit comme suit la comparaison de la dépense de premier établissement de la voie sur traverses métalliques et sur traverses en bois.

Une longueur de 12 mètres, renouvelée sur traverses en bois de chêne avec ballast criblé et dépourvu de tout élément sableux ou pierreux, revient à 243 fr. 76 soit par mètre $\frac{243,76}{12} = 20$ fr., 31 et sur traverses métalliques à 246 fr. 32 soit par mètre $\frac{246.32}{12} = 20$ fr., 53. Les prix des traverses en chêne étaient de 4 fr., 50 et celui des traverses métalliques système Hilf (fig. 168-B) 6 francs la traverse plus 0 fr., 78 par traverse pour les attaches (1).

3° Au point de vue de l'entretien journalier la forme de la traverse métallique a une grande influence. Si la traverse a une faible masse, elle est trop impressionnable sous les chocs des véhicules, et au lieu d'arrêter les vibrations qui en sont la conséquence, elle les transmet immédiatement au ballast qui l'enveloppe. A peine quelques jours se sont-ils écoulés depuis la mise en service, que les traverses en fer mal profilées restent simplement suspendues dans le ballast et, ne faisant plus corps avec lui, deviennent *danseuses*.

La masse nécessaire à l'absorption des chocs peut s'obtenir de deux manières : ou donner beaucoup de poids au métal, et cette solution devient très coûteuse, ou bien préparer la forme du profil de façon à emprisonner un grand volume de ballast qui fait corps avec la traverse et participe à tous les chocs.

A la question d'entretien se rapporte aussi le mode de fixation des rails ;

(1) Congrès de 1889.

telle attache très bonne à l'atelier devient détestable sur la voie. Pour satisfaire à toutes les conditions requises, une bonne attache devra se composer d'un très petit nombre de pièces simples, robustes, se dérangeant le moins possible sous l'influence des chocs, des variations de température, se démontant et se remontant facilement, et se laissant remplacer sans perte de temps.

Les traverses métalliques peuvent se ranger parmi les cinq classes suivantes:

Traverses à double T.

Traverses à simple T.

Traverses en U ∩.

Traverses à profil polygonal.

Traverses à profil curviligne.

131. — Traverses en double T. — La Société des Forges et aciéries de Marcinelle et Couillet (Belgique) a essayé dès 1862 sur l'une des voies de ses établissements, des traverses en double T, ayant 18 centimètres de largeur et des ailes de 5 centimètres. Chaque traverse a $2^m,50$ de longueur et est posée à plat. Le rail à large base repose sur des tasseaux en chêne de 6 centimètres d'épaisseur couchés entre les rails du double T et entaillés pour donner aux rails l'inclinaison voulue et recevoir la rondelle placée sous l'écrou de serrage des boulons à tige carrée sur la longueur engagée dans la partie horizontale de la traverse.

Cette traverse en fer pèse 45 kilogrammes. Le prix en est assez élevé, 8 francs, et cependant on en diminuerait difficilement le poids, car un essai de fer à double T de $0^m,16$ a démontré que la traverse réduite ne présentait plus assez de surface d'appui.

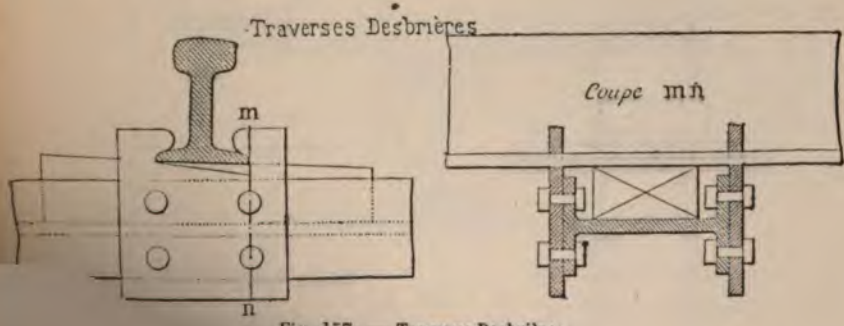


Fig. 157. — Traverse Desbrières

let, M. Desbrières emploie le fer à double T con-
mais son système diffère du précédent par
de donner l'inclinaison au rail et par l'ad-

dition d'un fer à T simple sous la traverse pour prévenir le glissement transversal (fig. 157).

Contre les ailes du double T sont rivées deux plaques de tôle découpées pour recevoir le patin du rail en couchant le rail à plat avant de l'introduire dans l'échancrure. Une fois engagé, le patin est saisi par les plaques de tôle et il suffit pour le fixer, de chasser entre le patin et la table de la traverse deux cales en bois.

Cette traverse a comme celle de Couillet l'inconvénient d'une faible hauteur verticale, par conséquent d'un défaut de résistance aux efforts dirigés dans le sens de la marche des trains. Toutes deux d'ailleurs sont pesantes et par suite coûteuses.

132. — Système Massardier. — La traverse de ce système est aussi constituée par un fer à double T ordinaire posé à plat qui peut recevoir les rails vignoles ou à double champignon.

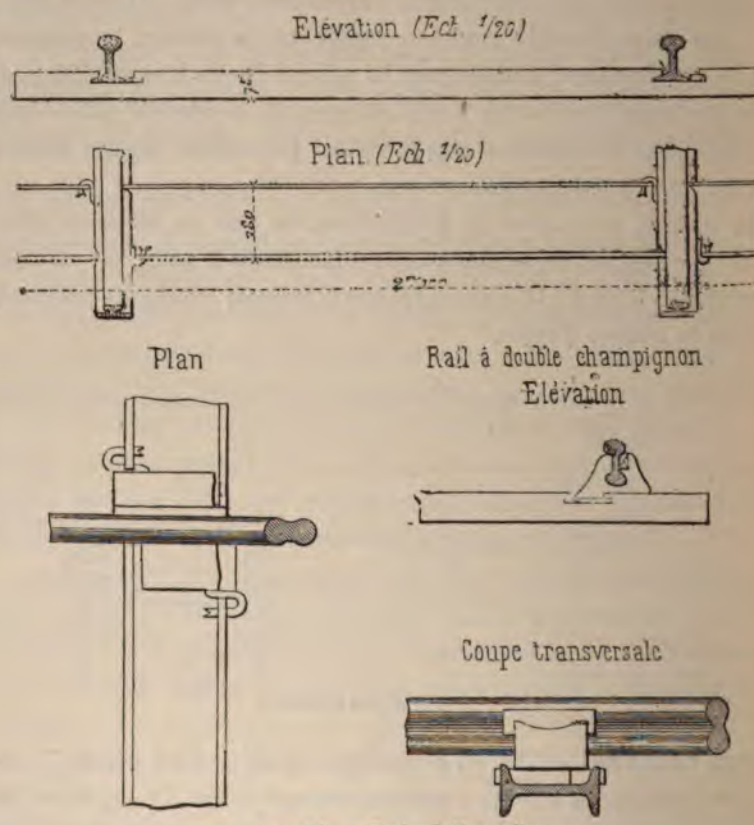


Fig. 158. — Traverse Massardier.

Dans le premier cas les parties inférieures des deux ailes sont entaillées de façon à présenter une portée pour le rail avec l'inclinaison de 1/20 vers le centre de la voie, à loger exactement le patin entre deux points diagonalement opposés ; les autres points reçoivent une clavette en fer (fig. 158) pour le serrage. La forme de cette clavette donne une certaine élasticité à ses branches. On comprend alors qu'en chassant les quatre clavettes dans les entailles qui leur sont ménagées on obtienne la fixation des rails à la traverse. Ce système est certainement simple, mais ne paraît applicable que pour des voies peu fatiguées où ne circuleraient que des trains à petite vitesse car rien ne s'oppose au ripage de la voie et le mode d'attache paraît insuffisant pour une certaine vitesse des trains.

Dans la voie à double champignon, le coussinet en fonte qui supporte le rail est de forme spéciale ; les deux côtés opposés de son patin s'engagent dans deux encoches pratiquées dans les ailes du fer à double T, ce qui empêche son renversement. Deux clavettes analogues aux précédentes et logées de la même façon, maintiennent le serrage.

133. — Traverse Sévérac. — Un ingénieur français, M. Sévérac emploie le profil à double T d'une façon plus judicieuse (fig. 159 *bis*), il place le fer à double T verticalement suivant le sens de sa plus grande ré-

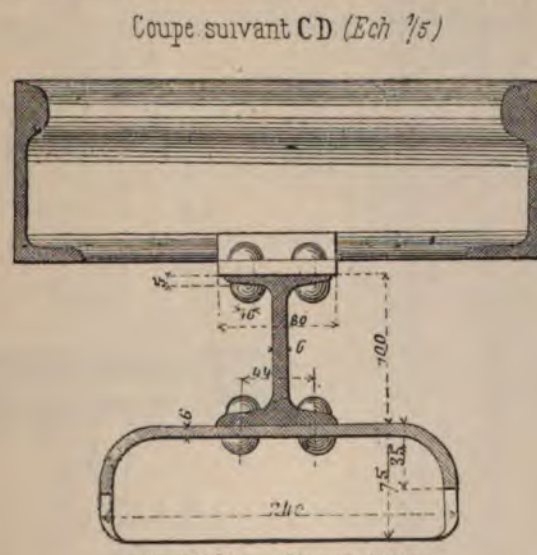


Fig. 159 *bis*. — Traverse Sévérac.

sistance, et fixe au moyen de rivets sur le plan supérieur deux selles destinées à recevoir le patin du rail qui est maintenu au moyen de coins en acier.

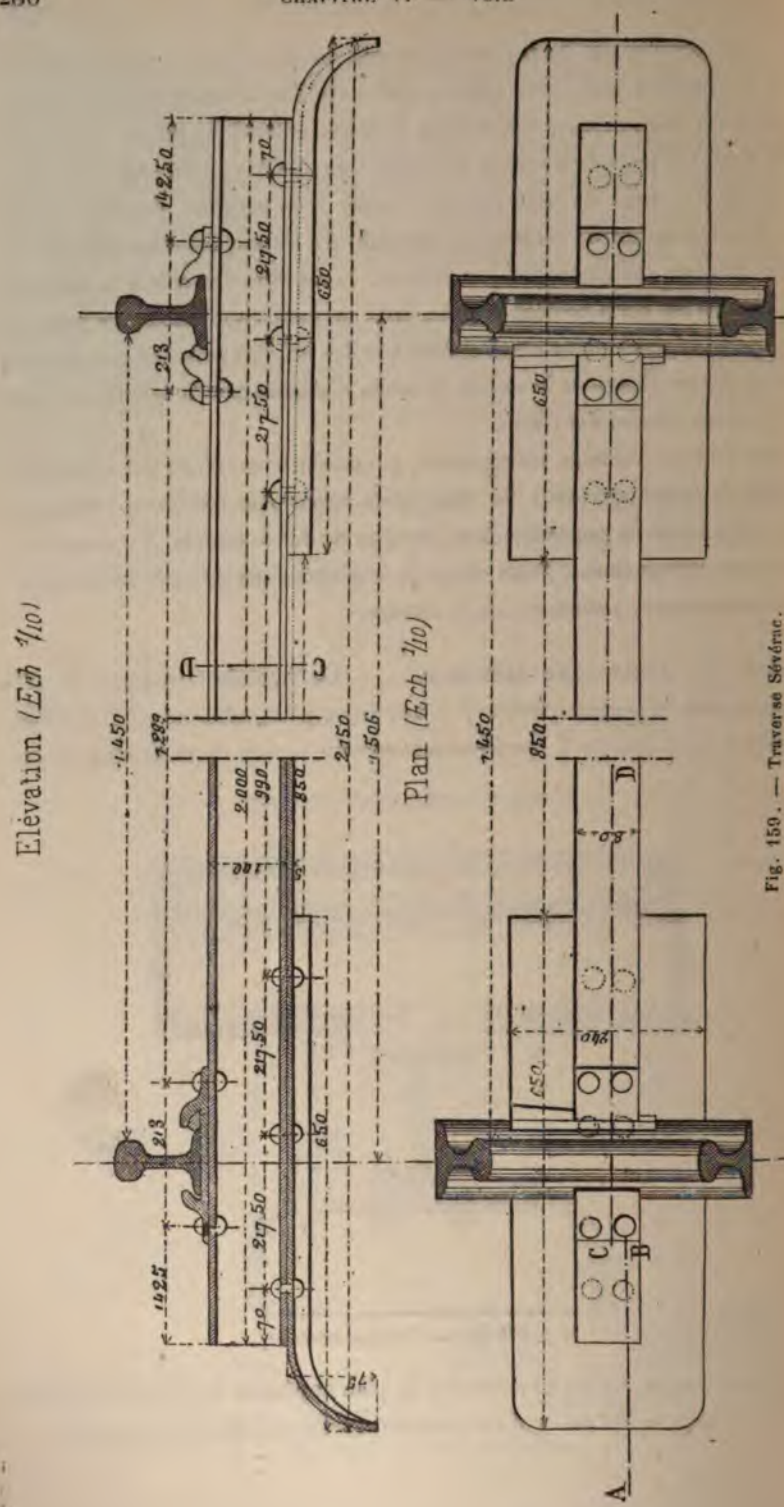


Fig. 159. — Traverse Sévéne.

Pour donner une plus large base d'appui à la traverse sur le ballast et aussi pour s'opposer au déplacement longitudinal dû aux coups de lacet, M. Sévérac dispose à chaque extrémité une platine dont l'extrémité débordant la traverse est recourbée et s'enfonce dans le ballast.

Cette traverse, qui est fabriquée en acier, laisse théoriquement peu de chose à désirer, il y a lieu de craindre cependant le relâchement des clavettes, et une certaine instabilité dans le ballast.

Elle est en expérience sur plusieurs lignes, aux chemins de fer du Nord, au Sénégal, en Algérie, etc.

Sur la ligne de Bône à Guelma on en a posé 2 500 au commencement de l'année 1889 et jusqu'à présent elles ont donné de bons résultats. Nous reproduisons (fig. 159 et 159 *bis*), une des traverses de ce type, du poids de 51 kilogrammes, employées par cette compagnie.

134. — Traverses en fer à simple T. — M. Stemmann a formé sa traverse d'un fer à simple T de 250 millimètres de largeur d'ailes horizontales, de 110 millimètres de hauteur de tige verticale, sur $2^m,11$ de longueur. L'inclinaison du rail est donnée par une plaque en fer entaillée suivant une face oblique, le serrage obtenu à l'aide de deux platines et de deux boulons à écrou, la plaque d'inclinaison séparée de la traverse par une lame de caoutchouc.

Cette traverse est d'un poids élevé, 140 kilogrammes ; sa forme ne permet pas un bon bourrage de ballast ; l'assemblage du rail est compliqué et l'adjonction coûteuse de la lame en caoutchouc ne paraît pas devoir rendre le serrage permanent.

La Société des usines de Sclessin a proposé un type plus simple que le précédent mais qui pêche également par le principe. La division du plan de pose de la traverse en deux plans inclinés vers l'axe de la voie donne l'inclinaison des rails ; les dimensions sont 220 millimètres de largeur sur 120 millimètres de hauteur et son poids est de 60 à 65 kilogrammes pour une longueur de $2^m,50$.

135. — Traverses en U. — Ce profil se prêtant à des assemblages faciles devait naturellement être essayé.

Dans le courant de 1886 les chemins de fer de l'Est français ont expérimenté des traverses en U posées comme l'indique la lettre et sur lesquelles le rail reposait par l'intermédiaire d'un bloc de bois ; les extrémités de la

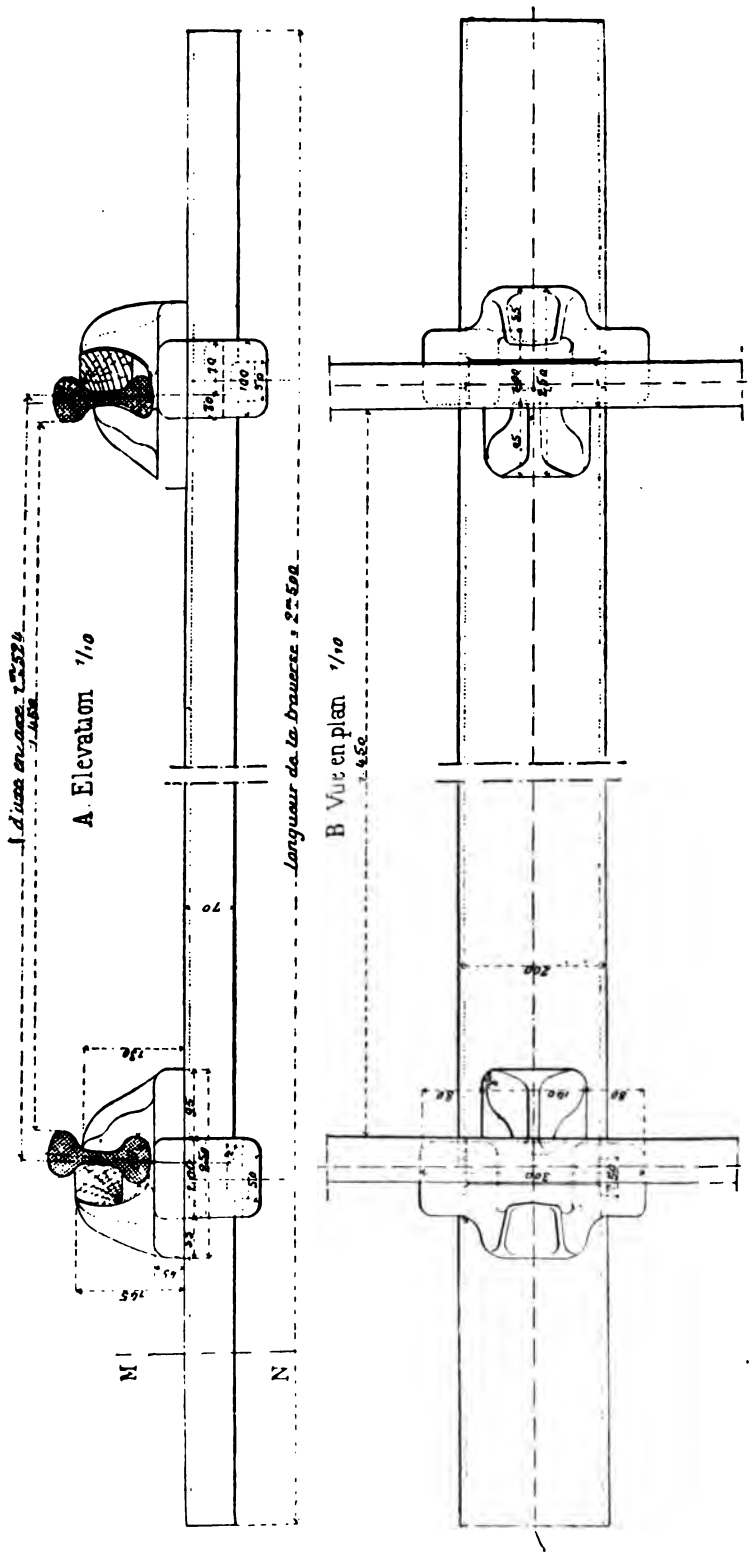


Fig. 160. — Traverse du Chemin de fer de l'Ouest.

traverse étaient recourbées de façon à s'opposer au ripage de la voie. Ces essais ne se sont pas développés.

La Compagnie des chemins de fer de l'Ouest a aussi adopté le profil en U mais en le posant (fig. 160 et 160 *bis*) en sens inverse, les branches de

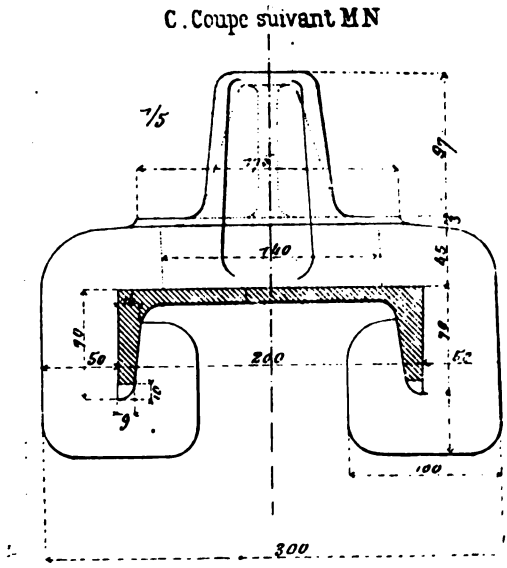


Fig. 160 *bis*. — Traverse de la Compagnie de l'Ouest.

l'U pénétrant dans le ballast ; à l'emplacement des rails on a fondu sur la traverse deux coussinets en fonte destinés à recevoir le rail à double champignon. Ces coussinets, par suite du retrait de la fonte, font corps avec la traverse, mais afin d'éviter tout déplacement un trou est percé dans la traverse et se remplit de fonte au moment de la coulée.

Cette traverse est à l'essai entre Paris et Versailles (rive droite).

Le prix en est de 14 francs, chiffre un peu élevé, mais qui correspond à une traverse lourde présentant une certaine stabilité.

Ce type nous paraît appelé à un certain succès.

Nous donnons (fig. 161 et 161 *bis*), les plans et coupes de la traverse de M. Frederico Cantero, ingénieur espagnol. La traverse est placée à plat et les deux ailes de l'U supportent le rail par l'intermédiaire d'une plaque qui donne l'inclinaison. Le rail est saisi vers l'extrémité de chaque traverse par quatre mâchoires fixées aux ailes de la traverse par un simple boulon.

Afin de faciliter l'entrée des boulons et le réglage de l'écartement des rails

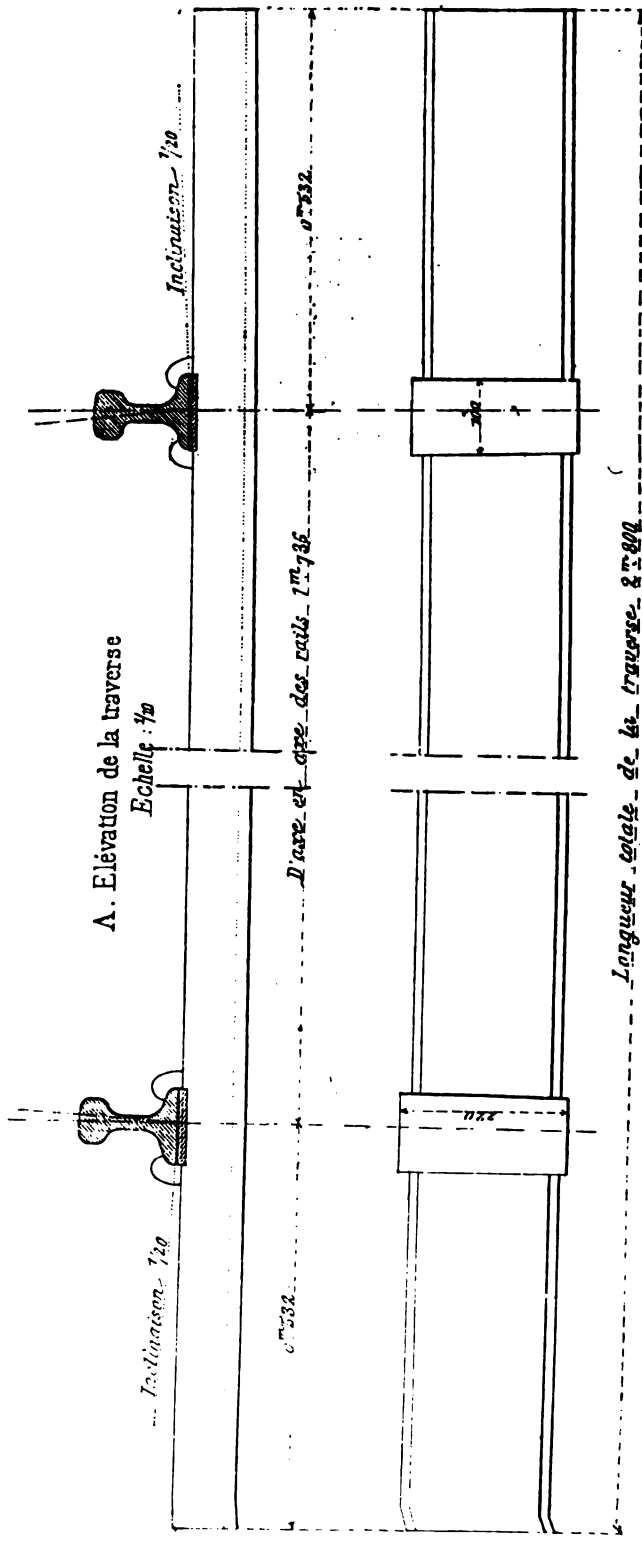


Fig 181. — Traverse Canaro.

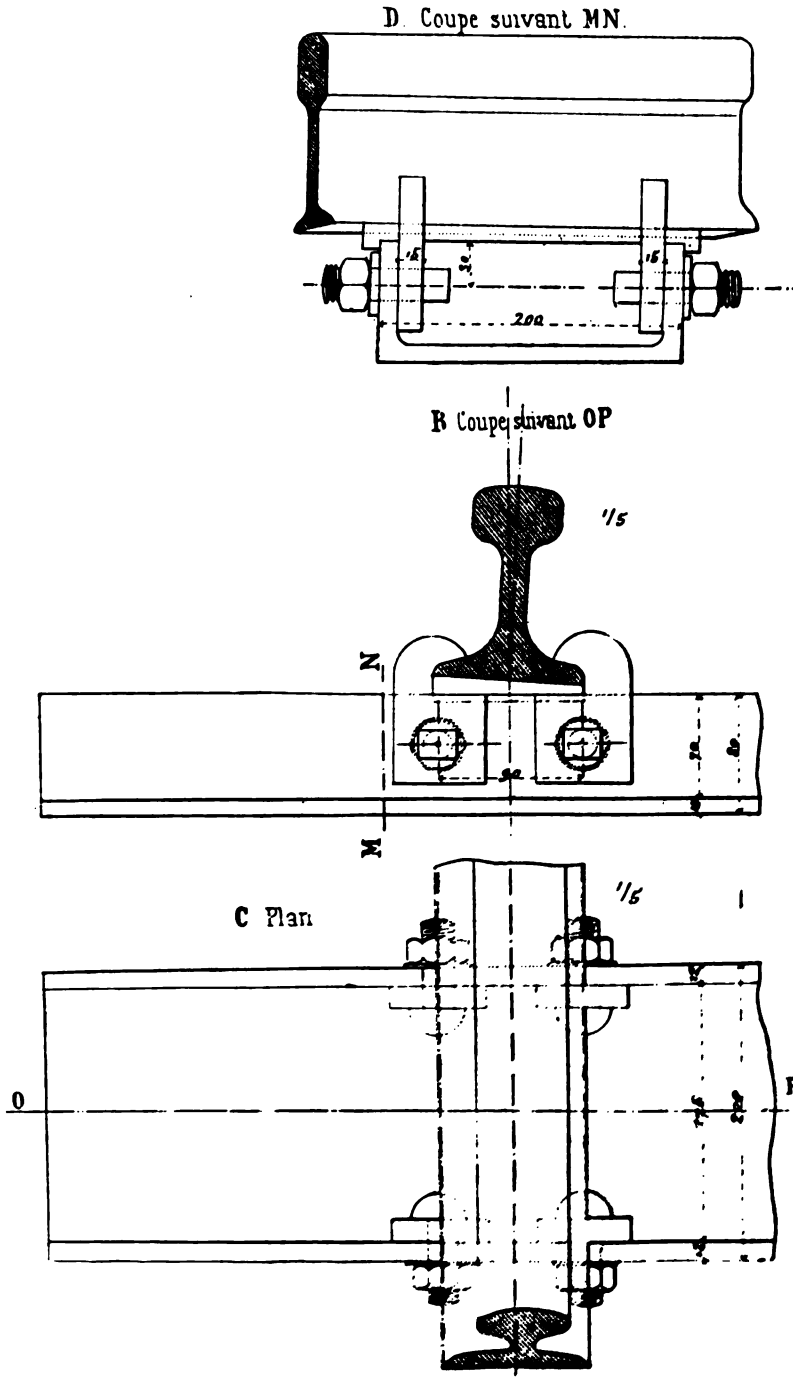


Fig. 161 bis. — Traverse Cantero.

dans les courbes, les trous percés dans les traverses sont ovalisés dans le sens horizontal.

Le poids de cette traverse est de 80 kilogrammes pour une longueur de $2^m,80$, son prix aux usines peut s'établir comme suit :

1 traverse,	poids 80^{kg} . .	à $10^{fr}25$ les 100 kilogr. . . .		$8^{fr}20$
2 plaques	» 2 40. .	à 36,20	»	0 86
4 mâchoires	» 2 . .	à 36,20	»	0 72
4 boulons	» 1 36. .	à 21,08	»	0 28
			Total. . . .	$10^{fr}06$

136. — Traverses à profil polygonal. — MM. Faliès et Chollet ont donné à la Société des Ingénieurs civils, en 1863, la description de traverses en tôle de fer, qu'ils proposaient de substituer aux traverses en bois. Leur projet consistait en une pièce de tôle repliée ayant pour section transversale un trapèze large de $0^m,100$ en haut, et $0^m,160$ en bas. Des cloisons en tôle rivée aux parois inclinées consolidaient les faces longitudinales et limitaient les mouvements dans le ballast. Dans le vide et à l'aplomb des rails se plaçaient des tasseaux en bois destinés à retenir les tirefonds d'attache.

Les conditions de fabrication de cette traverse en élevant considérablement le prix, le projet n'a pas eu de suite.

M. Langlois, de Dreux, emploie le fer Zorès qu'il applique aux rails à double champignon ou aux rails Vignoles.

Dans le premier cas, il place une selle en fonte sur le dos de la traverse, qui a pour dimensions $0^m,110$ de hauteur et $0^m,110$ de largeur à la base ; le poids est de 12 kilogrammes le mètre courant.

Appliqué sous les rails à large base, le trapèze conserve la même hauteur mais il prend un peu plus de largeur, $0^m,20$ à la base. La table de la traverse est entaillée pour donner l'inclinaison du rail. Le vide du trapèze est rempli par une pièce de bois calibrée qui reçoit les attaches des rails. Le fer pesait $10^k,50$ au mètre courant. Ce système mixte avait tous les inconvénients des traverses en fer joints à ceux des traverses en bois.

Système Vautherin. — Le profil préconisé par M. Vautherin dès 1863 a reçu un grand nombre d'applications ou pour mieux dire a été mis en essai par beaucoup de Compagnies qui ont expérimenté les divers modes d'attache des rails qui ont été successivement présentés.

Les chemins de fer de Lyon ont introduit dans leur voie en 1864 des tra-

verses de ce système en fer laminé à section trapézoïdale portant rivées sur leur face supérieure les selles d'appui du rail.

Les selles présentent, vers l'extérieur un rebord sous lequel s'engage le patin du rail; à l'intérieur, le patin est retenu par un prisonnier pris dans une mortaise rectangulaire pratiquée dans la selle et dans la traverse. Ce prisonnier est maintenu en place par une clavette à talon.

Pour changer un rail, on arrache la clavette avec une pince, et on fait sortir le prisonnier; le rail peut alors glisser transversalement vers l'intérieur de la voie, en se dégageant du rebord qui le maintient.

Traverses intermédiaires. — Les traverses intermédiaires (fig. 162) ont $2^m,50$ de longueur et $0^m,260$ de largeur à la base, ce qui leur donne une surface d'appui sur le ballast de $0^{m^2},6500$.

Les traverses en bois ont pour dimensions minima $2^m,75$ et $0^m,200$, ce qui correspond à une surface d'appui de $0^{m^2},5500$. Les traverses en fer présenteront plus de surface d'appui que les traverses en bois.

Le rail est maintenu par un seul prisonnier à l'intérieur.

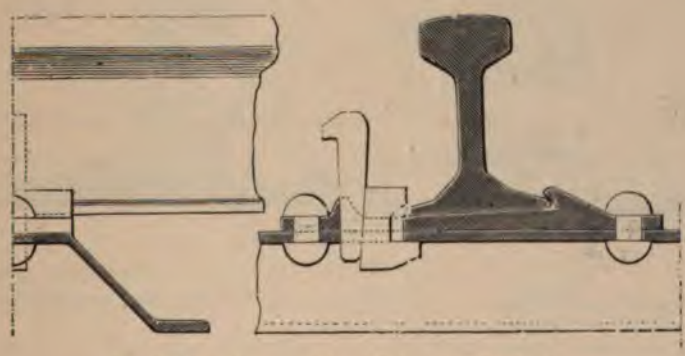


Fig. 162. — Traverse intermédiaire, type Vautherin.

Traverses contre-joints. — Les traverses contre-joints ont les mêmes dimensions que les précédentes. Elles sont disposées pour arrêter le glissement longitudinal des rails, au moyen de prisonniers spéciaux traversant les encoches ménagées dans le patin des rails. Ces encoches sont à $0^m,05$ l'une de l'autre sur les deux files de rails.

Or, dans les courbes, il arrive souvent que les joints, sur les deux files de rails, ne tombent pas rigoureusement en face l'un de l'autre.

En supposant qu'on ait convenablement employé les rails courts dans la file intérieure, la quantité dont les joints pourront chevaucher ainsi variera de 0 à $0^m,02$; les traverses contre-joints, dont la position est déterminée par les

encoches des rails, s'inclineraient alors dans un sens ou dans l'autre sur le rayon de la courbe. Il en résulterait un rétrécissement de la voie qui pourrait atteindre 1 mil. 5 environ.

Pour atténuer les effets de cette disposition au rétrécissement, on a donné aux traverses contre-joints des dimensions telles que les joints étant en face l'un de l'autre, les traverses contre-joints donnent à la voie un excédant de largeur de 3/4 de millimètre ; de sorte que, lorsque les joints se croisent de $0^m,02$, la voie ne sera rétrécie que de 3/4 de millimètre seulement, au droit des traverses de contre-joint.

Cette traverse, ainsi disposée, peut se placer dans une direction oblique de $0^m,05$, par rapport à l'axe de la voie ; et, à cet effet, les selles sont montées sur les traverses, de manière à occuper cependant une direction normale à l'axe de la voie.

Ces précautions sont inutiles avec les traverses en bois, parce qu'on peut toujours percer sur place les trous des crampons des traverses contre-joints.

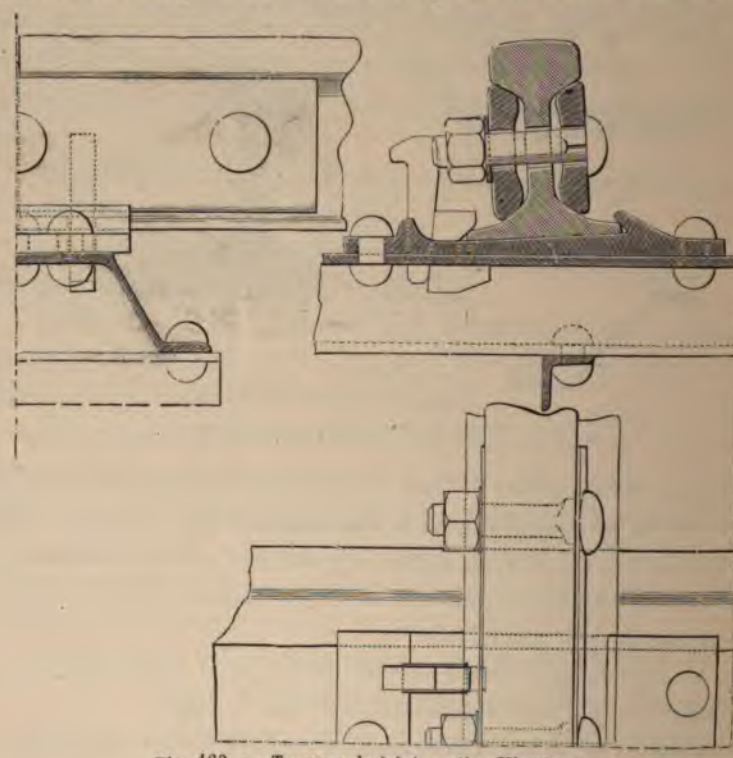


Fig. 163. — Traverse de joint, système Vautherin

Traverses de joint. — La section des traverses de joint (fig. 163) n'est

pas exactement semblable à celle des traverses intermédiaires, mais leur largeur d'appui sur le ballast est la même; leur longueur étant de $2^m,75$, leur surface totale d'appui est de $0^{m^2},715$.

Les traverses de joint en bois, de $2^m,75$ sur $0^m,30$, présentent une surface d'appui de $0^m,825$; elles ont donc un léger avantage sur les premiers.

La section des traverses de joint est moins facilement déformée que celle des traverses intermédiaires, par suite de l'addition de cornières rivées sous les rebords de la traverse, au droit de chaque file de rails. On s'oppose encore ainsi au glissement transversal des traverses de joint dans les courbes.

Les selles de joint ont le même profil que les selles intermédiaires; mais, plus larges que ces dernières, elles sont fixées à la traverse par trois rivets au lieu de deux. Il y a deux prisonniers (analogues à ceux des traverses intermédiaires) et trois clavettes (type unique).

A l'usage, ces attaches laissaient à désirer, car, pendant les fortes gelées le ballast, en se surélevant, repousse la clavette verticale et diminue le degré de serrage. Pour remédier à cet inconvénient, on a fait venir à la contre-clavette fixe un retour d'équerre (fig. 164) qui protège l'extrémité inférieure de la clavette.

Les poids et les prix de ces traverses étaient :

Traverses	de joints. . .	$54^{kil}50$	$14^{fr}00$ c.
	de contre-joints	41, 00	10,05
	intermédiaires .	40, 50	10,06

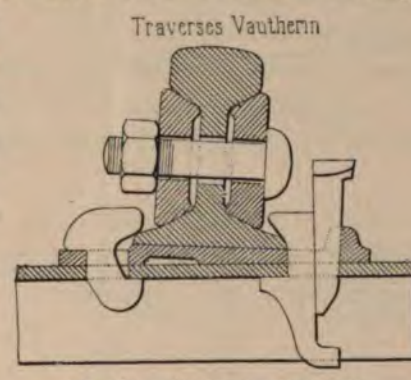


Fig. 164 — Contre-clavette à patte

Récemment, les ingénieurs des chemins de fer algériens exploités par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée, ont exprimé leur opinion sur les traverses métalliques posées sur leur voie; elle peut se résumer ainsi :

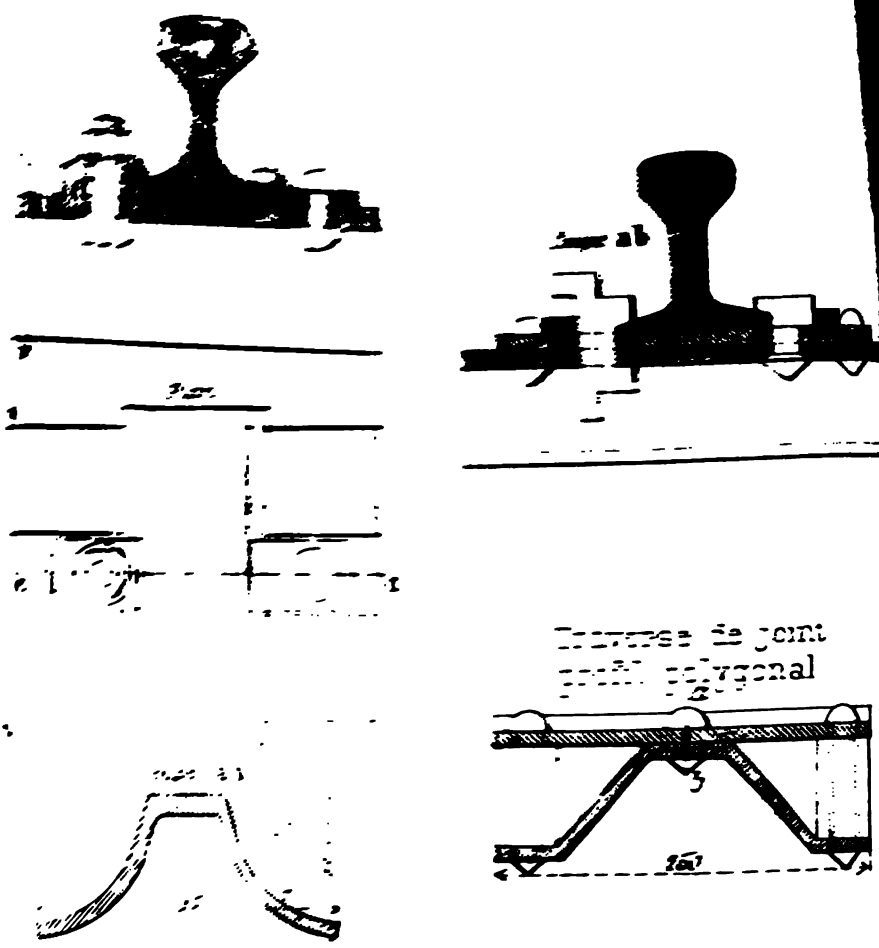
Les traverses métalliques en usage reviennent à 2 francs plus cher que les traverses en bois, mais on économise 2 francs sur la main-d'œuvre de pose et de ballastage, de sorte que les prix des deux traverses mises en place est le même.

La traverse métallique dure quatre fois plus que la traverse en bois, et elle réduit la dépense des frais de transport. Elle économise 1/3 de la main-d'œuvre pour son remplacement; après les deux premières années, elle économise 1/3 des frais d'entretien courant et de surveillance de la voie.

[illegible]

[illegible]

[illegible]



[illegible] 162 et 163. — Essais de traverses en fer. — Est.

[illegible] 147 traverses avaient été posées en 1885, à titre d'essai comparatif.

Ces types, dont le fer a 7 millimètres d'épaisseur, pesaient 65 et 41 kilogrammes. Un grand nombre de traverses se sont fendues de l'extrémité

jusqu'à l'attache du rail. Presque toutes ont pris une flèche de 13 à 14 millimètres sous la pression des trains ; les platines servant d'appuis aux rails se cassent ; les rivets prennent du jeu, et les crochets à demeure ne maintiennent pas l'écartement des rails.

Au chemin de fer du Nord, un déraillement survenu sur une portion de voie posée avec traverses en fer, a mis en relief un des inconvénients de ce système : faible résistance aux chocs des roues déraillées et grande facilité de flexion ; de telle sorte que, lorsqu'il s'agit de réparer une voie désorganisée par un déraillement, toutes les traverses en fer, plus ou moins pliées et contournées, sont absolument hors d'emploi immédiat, quand elles ne passent pas directement à la ferraille.

Quelques traverses, du système Vautherin (fig. 164), ont été appliquées sur la section du chemin de fer prussien de Saarbruck à Sulzback. Le poids de chaque traverse, avec ses attaches, est de 14 kilogrammes le mètre courant.

Les plaques d'inclinaison y sont supprimées, la traverse étant pliée vers le milieu de manière à former deux plans obliques de 1/20 sur l'horizontale. — Le prix de chaque traverse était revenu à 6 fr.,87. Les résultats ont paru tellement favorables que des quantités importantes de ces traverses ont été mises en essai en France, en Algérie, en Belgique, en Allemagne, etc.

Il existe encore beaucoup d'autres modes d'attache du rail sur cette traverse.

Sur la figure 167 — A — un des patins restant butté sur le crochet (*a*) l'autre est retenu sous la tête d'un crampon à coulisse chassé par une clavette élastique (*c*) à deux branches et en acier trempé ; une mortaise ovale (G)

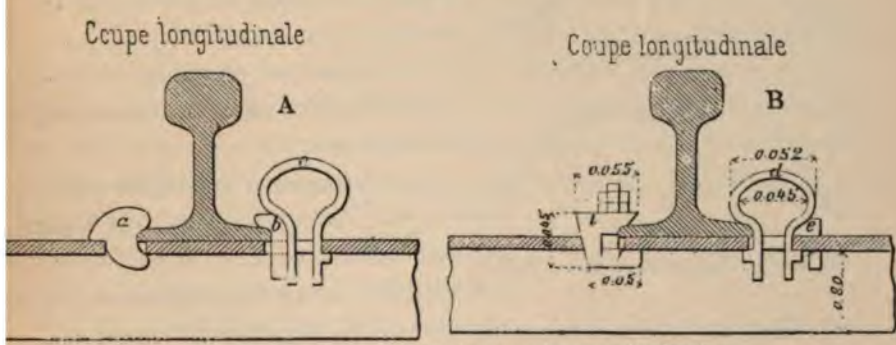


Fig. 167 — Systèmes d'attaches pour traverses Vautherin.

pratiquée dans la traverse, sert à loger la clavette ; celle-ci y est introduite et en la tournant ensuite d'un quart de tour à l'aide d'un levier, ses deux

branches se trouvent comprimées dans l'espace plus étroit et exercent un serrage continu sur le crampon du rail.

La figure B représente un autre modèle d'attache : la clavette élastique (*a*) fait fonction à la fois de crampon et de clavette, d'un côté, sa boucle s'appuie fortement sur le patin du rail, de l'autre, elle est maintenue par un buttoir à coulisse (*e*) et ses ergots touchent le dessous de la traverse. Le serrage est complété par l'usage d'une pièce (*i*) qui exerce une contrepression régulatrice sur le patin opposé par l'action d'un boulon (*j*). Le bourrage du ballast se fait convenablement en raison de la forme de la traverse et de ses dimensions.

Afin de rendre plus facile les conditions de pose de la voie en courbes de rayons divers on a été amené à mettre d'un côté du patin du rail deux cales d'épaisseur différente serrées par un coin enfoncé à force. Suivant la surlargeur à donner à la voie on intervertit la position de ces cales.

Les chemins de fer de Berg et Marche, du Saint-Gothard, du Central Suisse, etc., ont adopté cette disposition avec la traverse Vautherin dont le profil a été modifié à sa base (fig. 168).

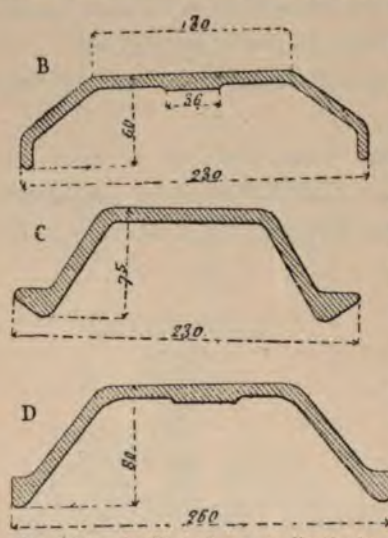


Fig. 168. — Profils de traverses Vautherin

Les deux ailes au lieu d'être recourbées horizontalement ont été prolongées verticalement de façon à pénétrer facilement dans le ballast, puis on a consolidé l'arête inférieure en substituant à la section rectangulaire une section triangulaire à angles arrondis formant bourrelet, ce qui facilite le bourrage.

On s'oppose au déplacement longitudinal de la traverse en recourbant ses extrémités.

En Allemagne on emploie beaucoup le profil Vautherin modifié, fig. 168, soit en diminuant la largeur de la table supérieure, soit en augmentant (D) ou en diminuant (B), la distance de cette surface aux arêtes inférieures, soit en renforçant lesdites arêtes par un cordon (*c*) mais d'une façon générale en supprimant le petit retour d'équerre du profil original.

Quant au poids il est compris entre 40 et 60 kilogrammes.

A la fixation du patin du rail au moyen de clavettes verticales on a

substitué des crapauds serrés par des boulons (fig. 167 B) et comme pour donner l'inclinaison au rail on interpose une selle, il en résulte que le boulon doit traverser ou serrer trois pièces.

Ce mode d'attache laisse à désirer, et d'autre part, il présente quelques difficultés dans la pose de la voie, la tête du boulon devant être maintenue pendant le serrage de l'écrou.

On a du percer des trous carrés dans la traverse de façon que le boulon possédant une partie carrée sous la tête, ce dernier ne puisse tourner pendant le serrage. Les crapauds étaient entraînés par la marche du rail et les écrous se desserraient, on a du engager un prolongement rectangulaire du crapaud dans la traverse. Dans l'entretien il arrive qu'en desserrant les écrous le boulon s'enfonce et que pour le ravoir on soit obligé à un débourrage de la traverse. Pour obvier à cet inconvénient, M. Delettrez fait venir sous la tête du boulon un collet ovale ou rectangulaire comme la tête dont il est distant de l'épaisseur même de la traverse. On entre la tête du boulon par la partie extérieure de la traverse puis en tournant l'axe du boulon de 90° il se trouve maintenu dans le sens vertical par le collet.

On introduit alors un crapaud dont un têton pénètre dans l'ouverture restée libre de la traverse et qui embrasse complètement le collet de façon à s'opposer à toute rotation, on peut ainsi serrer l'écrou sur le crapaud sans que le boulon puisse tourner.

Traverse Webb. — En Angleterre, où le rail à double champignon est presque exclusivement en usage, on emploie des traverses métalliques de différents systèmes sur lesquels sont fixés des coussinets en fonte.

M. Webb a proposé un coussinet en acier, formé de trois pièces fixées sur une traverse Vautherin dont les branches inférieures munies d'un cordon sont écartées de 276 à 277 millimètres. Les deux cornières qui constituent les ailes du coussinet sont rivées à la table supérieure et comprennent entre leurs prolongements horizontaux, la platine inférieure sur laquelle repose le champignon inférieur du rail.

Cette traverse expérimentée sur des voies de grand trafic pèse 83 kilogrammes environ pour une longueur de $2^{m},70$.

Traverses Legrand et Salkin. — Des traverses à section polygonale ont été proposées par MM. Legrand et Salkin, de Mons (Belgique), avant 1867, elles semblaient (fig. 169) offrir plus de résistance à la sortie du ballast bourré, et par conséquent permettre une stabilité satisfaisante. Elles ont été mises en essai au chemin de fer du Nord français et au Grand Central belge.

Ce profil à chapeau a été un peu modifié par M. Haarmann (fig. 170), qui l'a fait adopter aux chemins de fer prussiens.

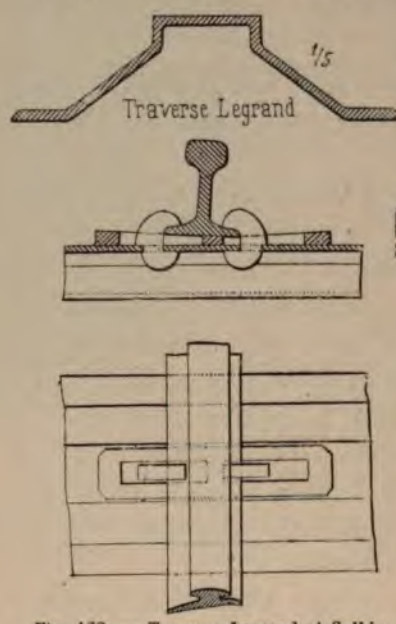


Fig. 169. — Traverse Legrand et Salkin.

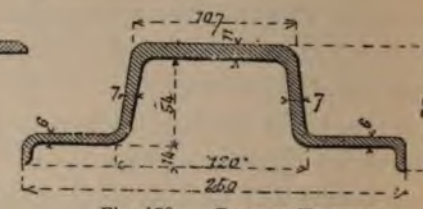


Fig. 170. — Traverse Haarmann.

On reproche à cette traverse ainsi qu'à la précédente d'être d'un bourrage difficile et de ne pas présenter une raideur en rapport avec son poids. Quant à l'attache du rail, elle consiste surtout en crapauds traversés par des boulons.

Système Brunon. — Cette traverse est en tôle d'acier emboutie en forme d'U renversé, la table supérieure présente la plus petite largeur au milieu et la plus grande aux extrémités, tandis que les ailes recourbées présentent la plus grande hauteur au centre (fig. 171).

La traverse a une épaisseur variable qui atteint son maximum à l'emplacement des rails et son minimum au milieu.

On emboutit la tôle de façon à présenter deux tables planes sur lesquelles repose le patin du rail qui est saisi par deux taquets serrés par un boulon coudé. Les mêmes taquets forment éclisse à l'endroit d'un joint de façon à s'opposer au glissement du rail.

Aux chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée on a employé de ces traverses dont l'épaisseur variait, comme il est dit ci-dessus, de 9 à 6 millimètres, et dont le poids était de 27 kilogrammes ; si on y ajoute les deux boulons en fer pesant 2 kilogrammes et les quatre taquets pour 3 kilogrammes, on obtient un poids total de 32 kilogrammes. En 1877 cette traverse coûtait 10 francs.

Traverse Post. — La traverse Post se rapproche assez du type Vautherin, mais sa section est un peu différente, les deux faces inclinées étant prolongées par deux surfaces à peu près verticales dont l'arête inférieure est adoucie par un bourrelet à section triangulaire (fig. 172).

La traverse est en acier laminé, emboutie à la presse de façon à donner

l'inclinaison convenable aux patins des rails vignoles et à rabattre les extrémités qui présentent alors une surface destinée à s'opposer à tout mouvement transversal.

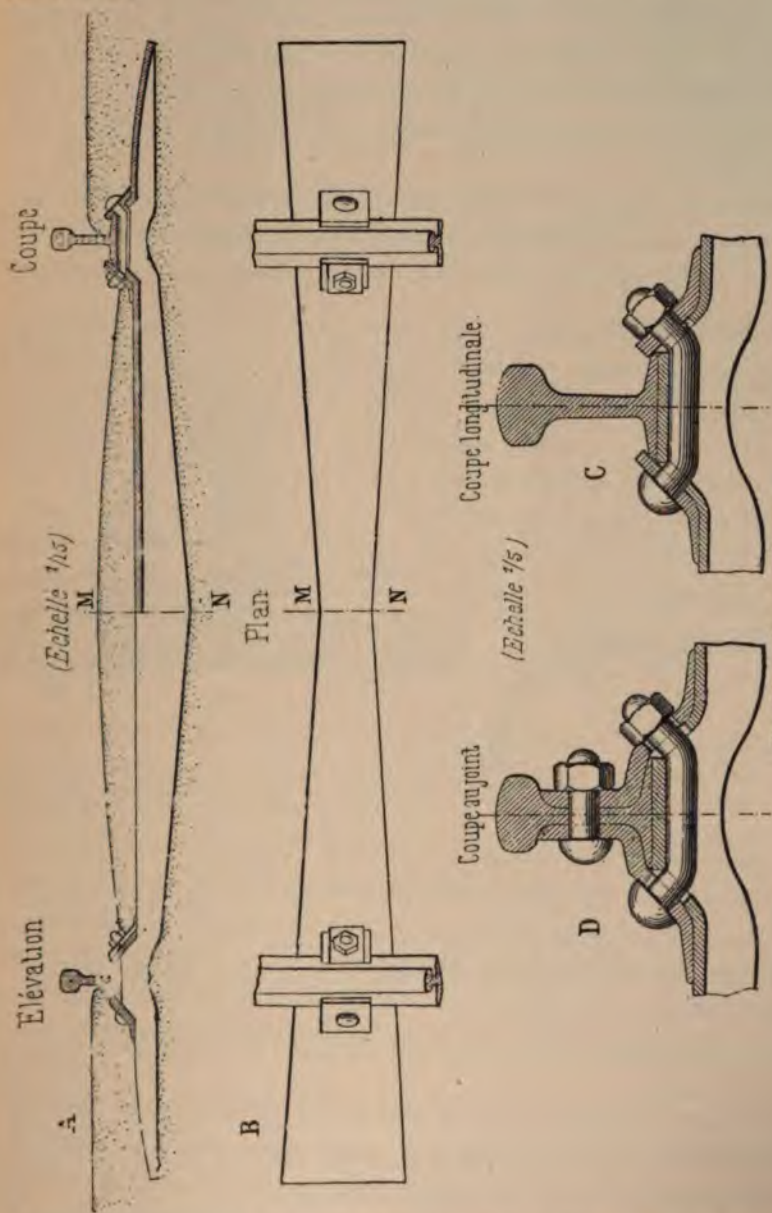


Fig. 171. — Traverse Brunon.

L'épaisseur du métal est variable suivant les parties du profil et atteint son maximum à la table supérieure et à l'emplacement des rails.

Différentes sortes d'attaches ont été essayées notamment des crapauds et boulons.

Les traverses Post, posées sur divers points du Liégeois-Limbourg, pesaient 40 kilogrammes. Celles du profil Haarmann, posées sur la ligne Liège-Hasselt et Hasselt-Eindhoven, pesaient 50 et 52 kilogrammes ; enfin les traverses à profil variable, pesant 51 kilogrammes, ont été placées notamment entre Herstal et Milmort sur une rampe de 16 millimètres où elles ont donné de bons résultats.

Le laminage à épaisseur variable a été appliqué à différents profils qui sont à l'état d'essai en Allemagne, en Holiande, en Suisse, en Belgique, en France.

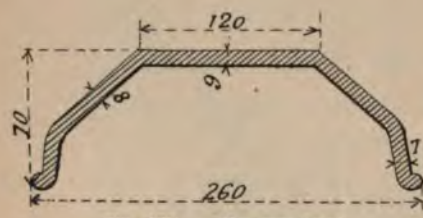


Fig. 172. — Traverse Post.

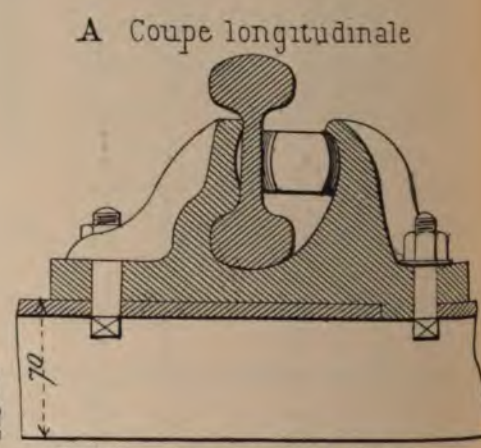


Fig. 173.— Traverse en acier de l'Etat français.

Etat français. — Les chemins de fer de l'État français expérimentent une traverse ayant le profil de la figure ci-contre (fig. 173).

La traverse est en acier doux d'une longueur de $2^{m},50$ et pèse 57 kilogrammes.

La table supérieure reçoit les coussinets destinés à emprisonner les rails à double champignon.

Ces coussinets sont fixés à la traverse par deux boulons, un ergot venu de fonte au coussinet pénètre dans une encoche pratiquée à la traverse et maintient l'écartement de la voie d'une manière invariable.

Pour éviter tout mouvement transversal de la voie la traverse a ses deux extrémités embouties ou rabattues.

Il y a environ 100000 de ces traverses en expérience aux dits chemins de fer, notamment sur la ligne de Bordeaux à Ambarès.

Les conditions imposées par cette administration pour les essais à la traction sont les suivantes :

Charge de rupture	45 kilogr. par millimètre carré.
Allongement minimum. . .	20 %.
Limite d'élasticité.	25 kilogr. par millimètre carré.

En outre les traverses percées doivent pouvoir supporter sans rupture, dans le sens de la longueur, une traction de 25 kilogrammes effectuée au droit de deux ouvertures dans lesquelles on introduit deux crochets.

Traverse Boyenval et Ponsart (fig. 174). — Cette traverse présente le profil de deux fers zorès accouplés. Sur la surface supérieure et à l'écartement de la voie sont rivées deux platines destinées à recevoir le patin d'un rail Vignoles auquel elles donnent l'inclinaison d'usage.

Le patin du rail est fixé à la platine de deux manières différentes :

Dans l'une d'elles on dispose sous la selle et dans l'intérieur de la rainure du milieu, formée par l'écartement des deux fers zorès, un morceau de bois de 25 à 30 centimètres de longueur dans lequel deux tirefonds ordinaires viennent se visser en traversant la selle. On a ainsi un système de fixation analogue à la pose sur traverses en bois, mais avec tous les inconvénients résultant de l'emploi du bois.

Dans l'autre disposition, on remplace cette pièce en bois par un écrou double en fer dans lequel deux vis, dont la tête appuie sur le patin du rail, viennent se visser (fig. 174 *bis*).

Dans les deux cas, la pose est facile et aucune chance de desserrage ne paraît exister, car le cheminement du rail tend toujours à serrer une vis ou un tirefond.

Si on emploie le rail à double champignon, on fixe directement le coussinet sur la traverse, au moyen de boulons ou même de rivets. En vue de combattre le déplacement longitudinal, les traverses sont embouties à leurs extrémités.

Le poids de cette traverse pour la voie normale varie de 45 à 60 kilogrammes, mais la section avec quatre faces verticales présente une résistance supérieure aux autres profils de même poids.

Lorsque la largeur de la voie est réduite à 1 mètre et que le nombre et la charge des trains correspondent à un trafic de peu d'importance, on p réduire le poids de cette traverse dans de fortes proportions.

chemins de fer de Porto-Rico en ont commandé 330.000 pesant 23 kilogrammes, attaches comprises (fig. 174).

Toutes ces lignes sont à la voie de 1 mètre avec rails d'acier du poids de 20 kilogrammes le mètre courant.

Nous donnons ci-dessous quelques résultats des essais faits par M. E. Kern, ingénieur civil, sur les traverses fabriquées aux aciéries d'Angleur pour les chemins de fer de Porto-Rico..

CHEMINS DE FER DE PORTO-RICO.

Essais à la Traction, sur des éprouvettes de traverses en acier, faits à l'Usine de la Société des Aciéries d'Angleur le 29 août 1891.

Numéros d'ordre	LONGUEUR	SECTION ou diamètre	Surface	Charge à la rupture	Résistance par m/m carré	Allongem. pour cent	RÉTRÉCISSEMENT Section	RÉTRÉCISSEMENT Surface	Limite d'élasticité
1	200 m/m	24,9 × 5,2	129,4	5900	45,5	21	21 × 3,2	67,2	3700
2	»	25 × 5,1	127,5	6000	47	22	20,6 × 3,2	67,9	3900
3	»	25 × 5,2	130	6200	47,7	22	20,7 × 3,1	64,1	3900
4	»	25 × 5	125	5700	45,5	23	20,3 × 3,2	64,9	3500

Essais à la traction, sur des éprouvettes de selles en acier, faits le même jour à la même usine.

1	200 m/m	25,2×9,4	236,9	10500	44,3	23	17,7×6	106,2	»
2	»	25,3×9,4	237,8	10700	44,9	24	17,4×5,8	100,9	6300
3	»	25,3×9,3	235,2	10600	45	22	17,4×5,6	97,4	6500
4	»	25,3×9,4	237,8	10500	44,2	24,5	17,5×6,1	106,7	6400

Essais à la traction, sur des éprouvettes d'attaches en acier, faits le même jour, à la même usine.

1	200 m/m	12,4	120,7	5800	48	20,5	8,4	55,4	2900
2	»	12,4	120,7	6000	49,7	21	8,4	55,4	3400
3	»	12,4	120,7	6100	50,5	21,5	8,3	54,1	3500
4	»	12,5	122,7	6000	48.9	22	8,4	55,4	3400

Traverse Villemin (fig. 175). — Le profil en Z a été proposé par M. Villemin qui l'a fait adopter par les chemins vicinaux de la banlieue de Charleroi dans le courant de l'année 1887.

Dans ce système le rail Vignoles repose sur un coussinet en fonte qui lui

A. Ensemble. 1/10

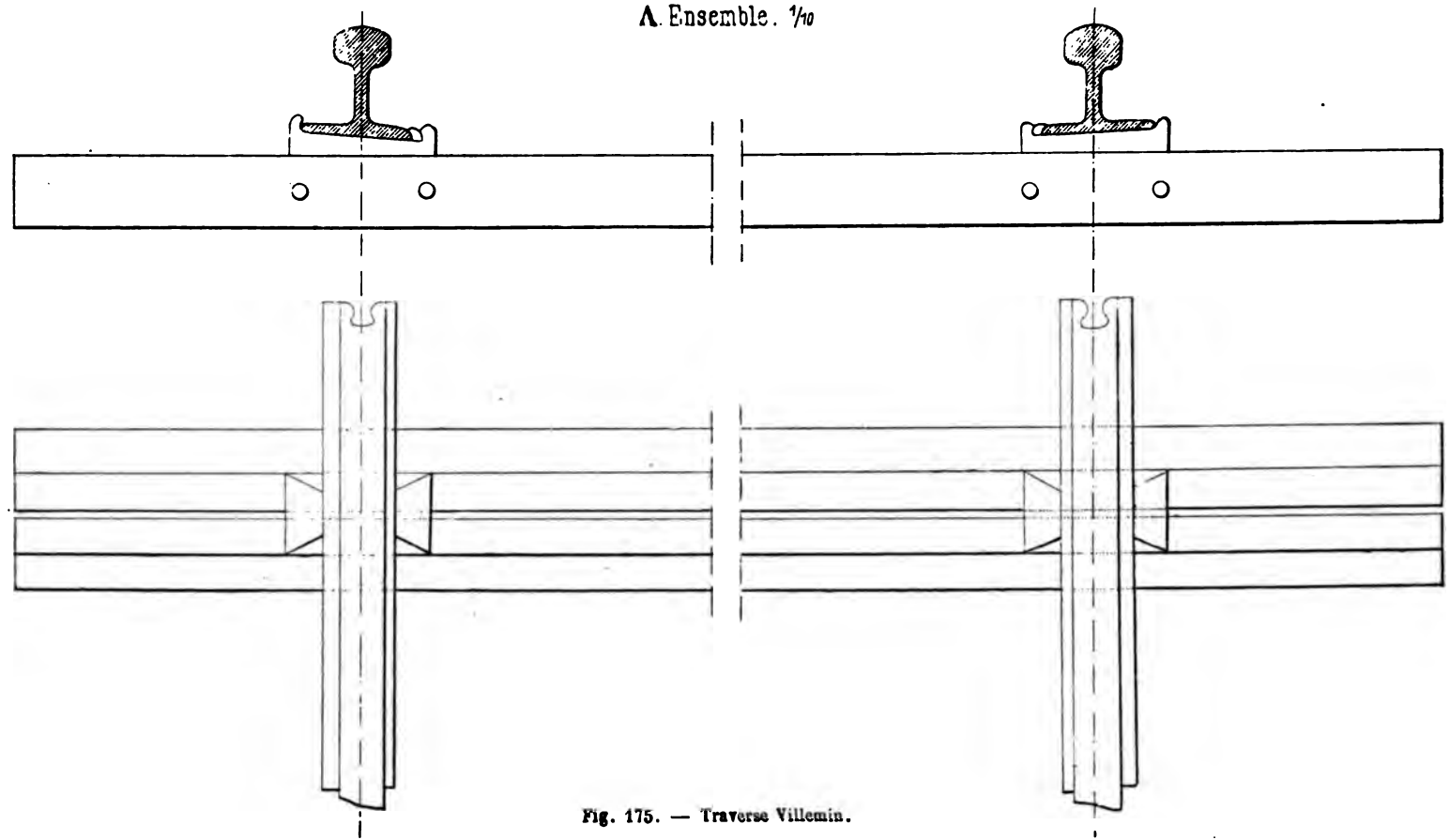


Fig. 175. — Traverse Villemin.

donne l'inclinaison de 1/20 et qui est saisi par deux Z en acier (formant traverses) que deux ou trois rivets réunissent en traversant le coussinet.

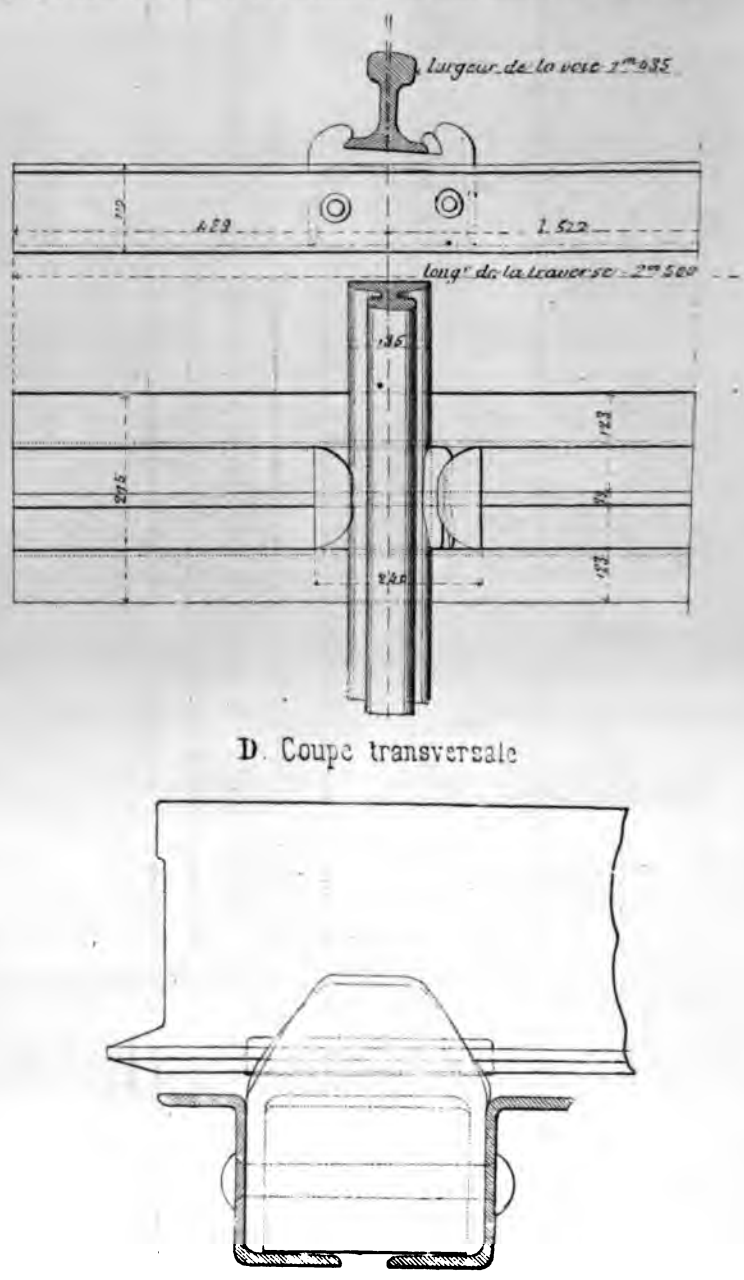


Fig. 175 *bis*. — Traverse Villemin.

Le rail est maintenu entre les ergots du coussinet au moyen d'une clavette en fer fendue à la scie à chaud. Le but de cette disposition est de s'op-

poser au desserrage par l'écartement des deux parties de l'extrémité de la fente.

La fixation invariable des deux fers en Z entre eux ne paraît pas devoir

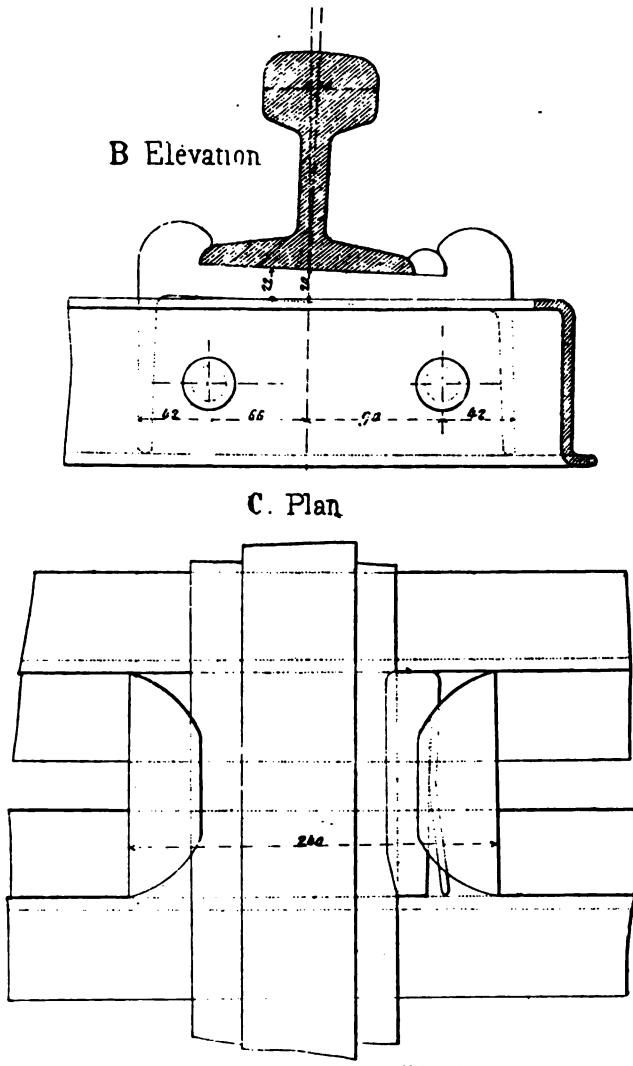


Fig. 175 *ter*. — Traverse Villemin.

être parfaite et la stabilité de la voie ne semble pas non plus être bien assurée.

Quant au poids de cette traverse, il est assez élevé.

La Société nationale des chemins de fer vicinaux emploie des traverses pesant 52 kilogrammes avec leurs attaches.

L'inventeur a étudié un modèle spécial pour voie normale du poids de 95 kilogs (fig. 175). Pour les voies de 1 mètre, il offre deux types, l'un de 35 kilogs et l'autre de 27 kilogs, suivant la nature et l'importance du trafic.

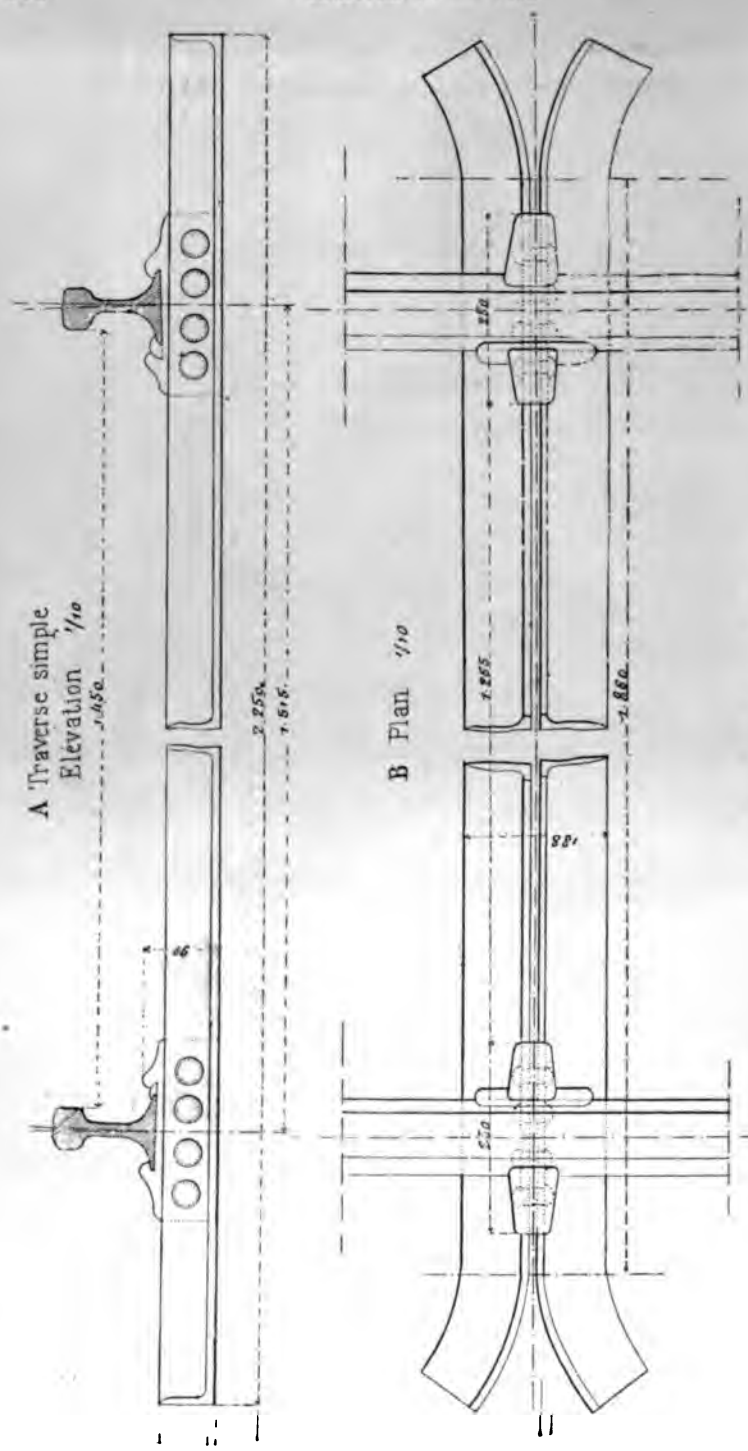


Fig. 176. — Traverse Paulet.

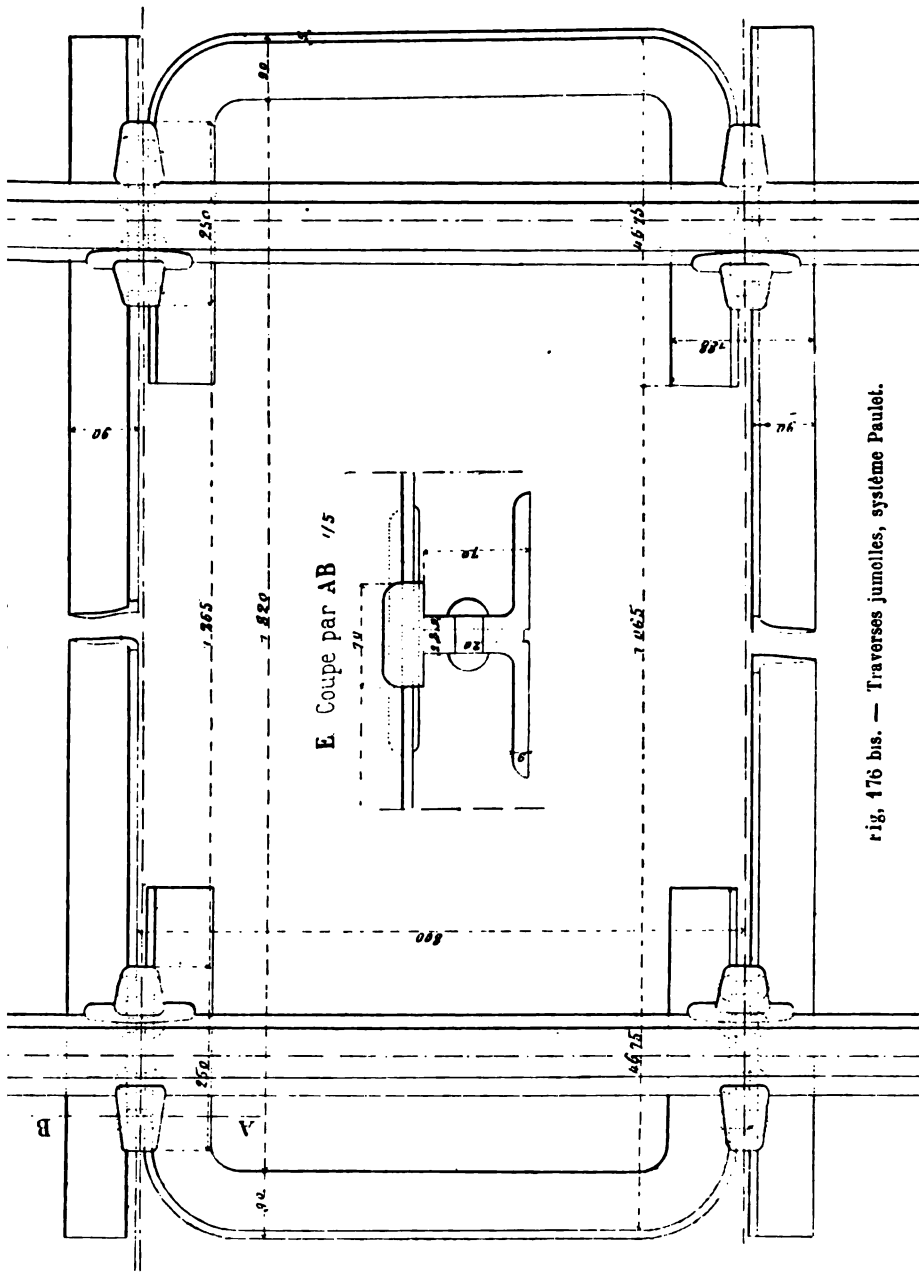


Fig. 176 bis. — Traverses jumelles, système Paulet.

Traverse Paulet (fig. 176). — M. Paulet présente deux sortes de traverses de son système.

La première (A et B) est constituée par deux cornières en fer à ailes inégales réunies par l'intermédiaire de deux coussinets en acier doux, coulés avec épaulements latéraux, la partie inférieure est de la même hauteur que les ailes verticales des cornières et se place entre elles, quatre rivets les fixent d'une manière invariable.

A chacune de leurs extrémités on écarte l'une de l'autre les deux cornières en les cintrant légèrement ou bien on rive une cornière de mêmes dimensions formant buttée contre le ballast. Le patin du rail repose sur le coussinet qui présente l'inclinaison au 1/10 et est serré au moyen d'une clavette en acier ou en fer forgé. Cette traverse pèse 54 kilogrammes.

Le deuxième système D E (fig. 176 *bis*) se compose aussi de deux cornières à ailes inégales de même profil que les précédentes mais espacées de $0^m,80$ et maintenues à cet écartement par deux autres cornières de même section recourbées à angle droit à leurs extrémités. Entre ces extrémités ainsi recourbées et les traverses droites sont intercalés les coussinets qui sont fixés comme dans le premier cas au moyen de quatre rivets.

Les ailes du coussinet emprisonnent le rail calé par une clavette métallique.

Le poids des traverses jumelles est de 90 kilogrammes.

Des essais de ces traverses ont été faits par la Société anonyme des hauts-fourneaux, forges et aciéries de la marine et des chemins de fer sur les voies d'embranchement reliant son usine de Saint-Chamond avec la ligne Paris-Lyon-Méditerranée et par les chemins de fer de l'État français sur la ligne de Niort à Montreuil-Bellay.

Traverse A. Sébillot (fig. 177). — M. Amédé Sébillot, ingénieur civil a pris un brevet pour une traverse formée d'une bande de fer renforcée par un certain nombre de petites nervures venues au laminage. Nous donnons (fig. 177) une des dispositions qu'il propose.

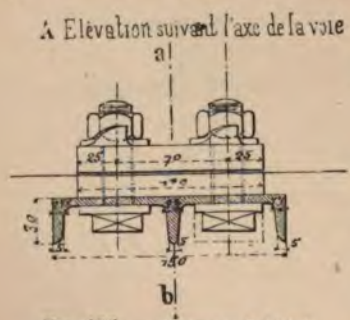


Fig. 177. — Traverse Sebillot.

La traverse a le profil d'un E sur la face plane de laquelle repose le patin du rail qui est maintenu par deux crapauds fixés à la traverse au moyen de boulons. Nous ne reviendrons pas sur les inconvénients de ce mode d'attache, quant au profil de la traverse il présente certainement une rigidité supérieure à celle du profil en U de mêmes dimensions.

Ce système n'a pas encore été appliqué que nous sachions.

Traverses à profil curviligne.— La traverse de la Société de la Franche-Comté représentée (fig. 178) pèse 43 kil. 500. Des divers profils essayés par la Compagnie de l'Est, ce dernier paraît s'être le mieux comporté dans la voie.

D'après un relevé tenu très minutieusement, des frais de main-d'œuvre d'entretien journalier, pendant neuf mois — mars à novembre 1868 — la dépense de main-d'œuvre du mètre courant de voie est ressortie comme suit :

Voie sur traverse en fer, à profil polygonal	0f,592
» » » en bois	0, 510
» » » en fer, à profil curviligne	0, 318

Ces différences s'expliquent par la forme du moule que ces traverses offrent au ballast; observons aussi que ces traverses étaient fermées à leurs extrémités par une tôle qui met obstacle au déplacement latéral.

Un examen fait en 1869 a constaté de nombreuses avaries éprouvées par un certain nombre de ces traverses.

La plupart des crapauds et même des rivets (fig. 165 et 166) remuent à la main; les platines (fig. 178) se cassent sous l'arête intérieure du patin du rail; la traverse elle-même se fend de chaque côté de la partie plate qui s'enfonce sous la pression de la selle qui supporte le rail. Il faut remarquer que le fer de ces traverses avait seulement 5 millimètres d'épaisseur, ce qui paraît insuffisant pour résister à l'action des trains.

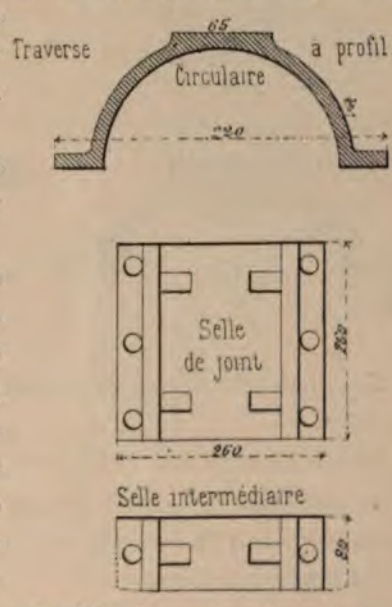


Fig. 178.— Traverse à profil curviligne.

La traverse de M. Lecrenier, qui peut se ranger dans cette catégorie des profils curvilignes, présente une section un peu aplatie afin d'offrir au patin du rail une surface d'appui plus étendue; elle a 150 millimètres de largeur dans le haut et 200 millimètres en bas; le fer a 5 millimètres d'épaisseur. Le patin du rail est incliné vers l'axe de la voie par suite d'un enfoncement de la face de pose pratiqué à chaud.

Quant au système d'attache, il n'offre rien de particulier, crapauds de serrage, maintenus par deux boulons. Ce système essayé en Portugal en 1860 a été abandonné.

Nous donnons (fig. 179) le profil d'une traverse à profil curviligne expé-

rimentée par le grand central Belge depuis 1886. Le rail Vignoles est fixé à ces traverses de deux manières différentes :

1° au moyen d'un bloc de bois dans lequel deux vis pénètrent en retenant par leur tête le patin du rail et la semelle donnant l'inclinaison au rail;

2° par un écrou double en fer tenant lieu de ce bloc en bois qui a été rapidement abandonné.

Cet écrou, placé à l'intérieur de la traverse, est rivé à sa face supérieure en vue de rendre plus facile l'introduction des tire-fonds.

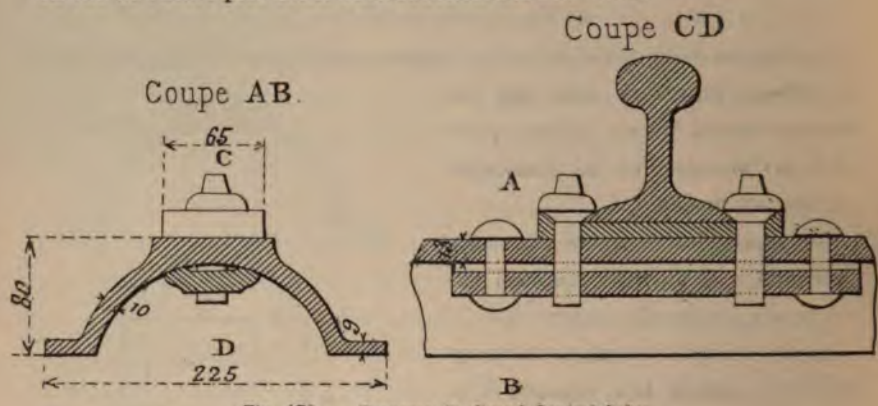


Fig. 179. — Traverse du Grand-Central belge.

Nous retrouverons une disposition analogue dans des traverses d'autres systèmes.

La traverse seule pèse 60 kil. 60 et avec ses accessoires 69 kil. 100.

Traverses en ∩. — En Angleterre on a laminé un grand nombre de traverses en forme d'∩ renversé, mais si les profils ont varié, les attaches ont été de formes très diverses.

Un système assez répandu consiste à découper dans la traverse même deux pattes qui servent à fixer le rail.

Traverses Livesey et Seyrig (fig. 180). — MM. Livesey et Seyrig ayant reconnu les inconvénients de ce système dont le moindre est d'affaiblir la section de la traverse à l'emplacement même du rail, ont rivé deux pattes sur la table supérieure de la traverse dont l'une s'appuie directement sur le patin du rail et l'autre par l'intermédiaire d'un coin métallique à nervures (fig. 180).

Le profil de la figure ci-contre est celui d'une traverse très forte, les extrémités sont embouties dans le sens vertical et horizontal suivant une surface courbe. En général cette traverse se fait en tôle d'acier et se comporte bien.

MM. Livesey et Seyrig ont fait adopter leurs traverses dans l'Amérique du Sud, à la colonie du Cap, au Mexique, etc., elle existe sur plus de 1.300 kilomètres de voe.i

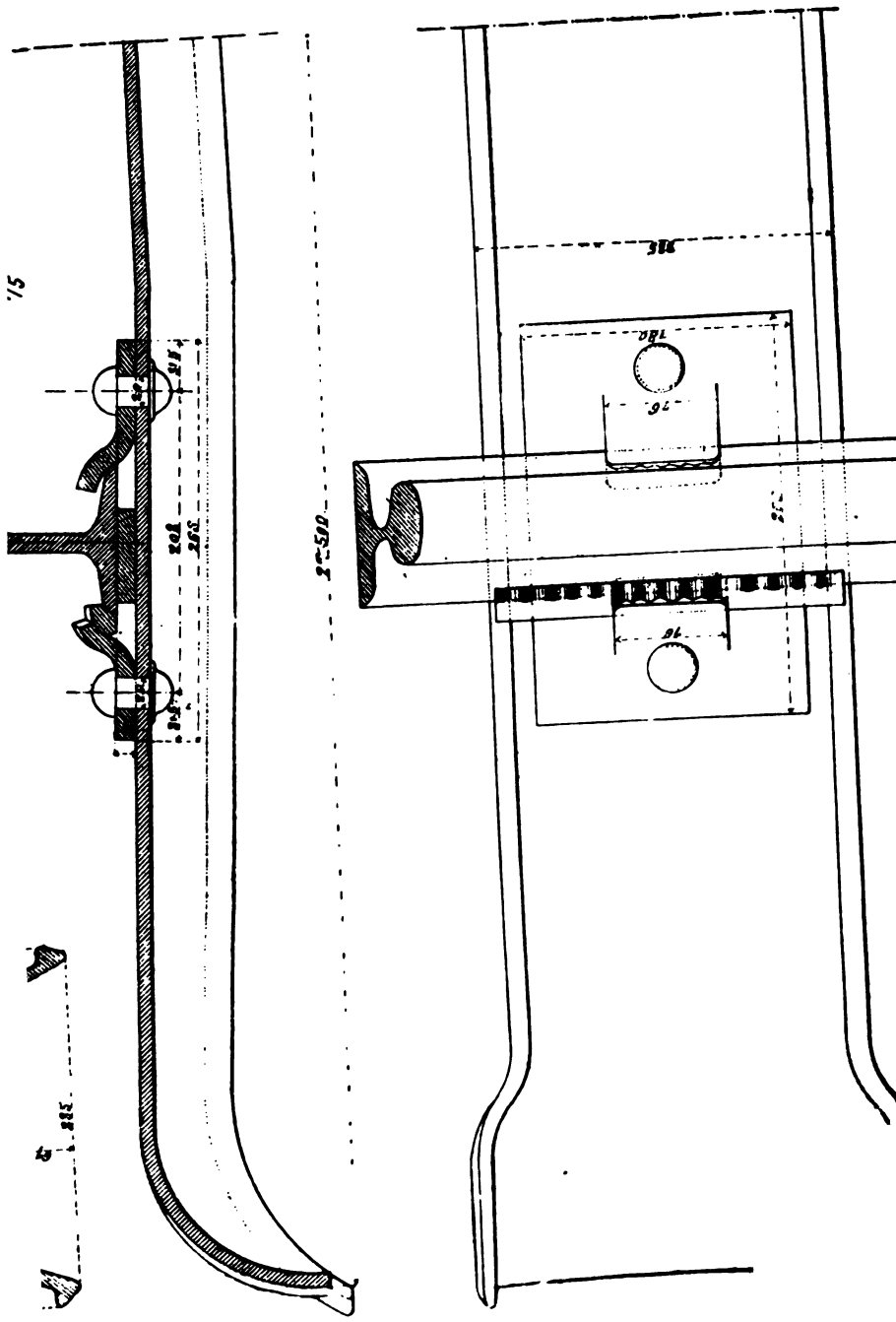


Fig. 180. — Traverse Livesey et Seyrig (1/50).

Système Lartigue, dit Monorail **(fig. 181). — Cette voie se compose d'une série de chevalets métalliques en forme d'A dont les bras inclinés sont formés de 2 cornières assemblées à leurs extrémités supérieures de chaque côté du rail double champignon qu'elles supportent.**

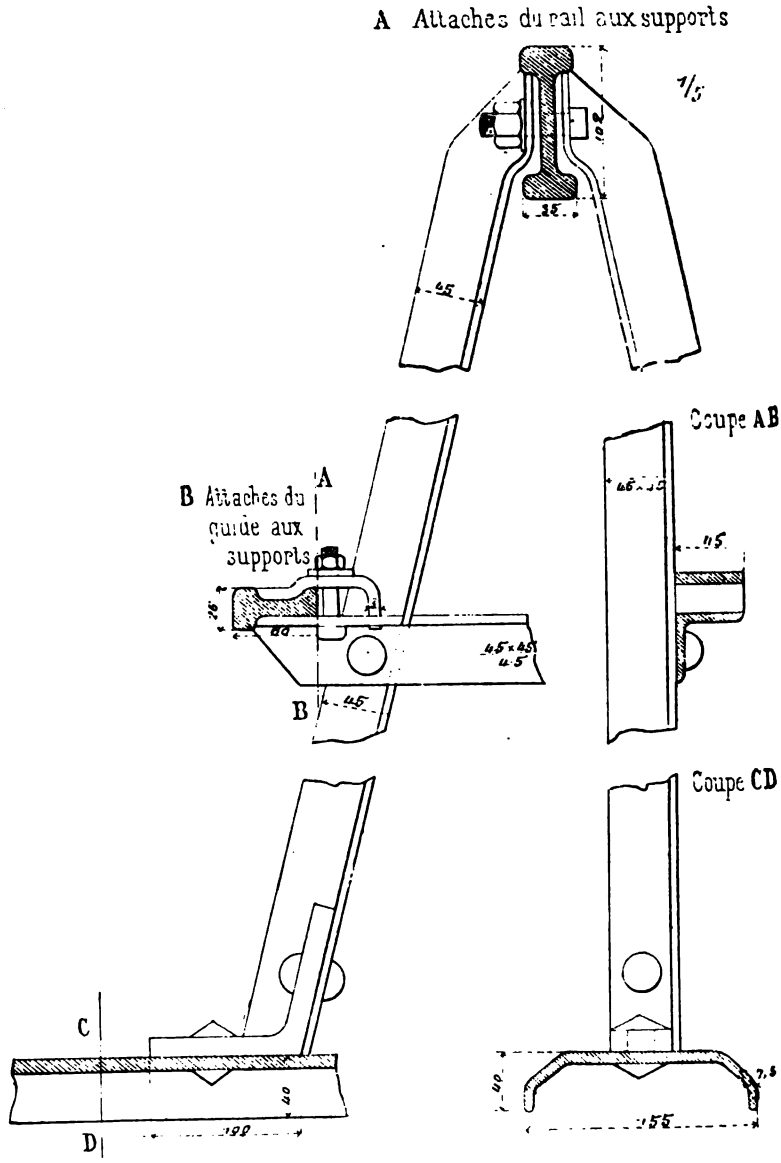


Fig. 181. — Système Lartigue.

Ces cornières reposent à leurs parties inférieures sur une traverse métallique ou en bois à laquelle elles sont fixées à l'aide d'équerres.

Environ au 1/3 de la hauteur se trouve une cornière horizontale qui relie les 2 bras inclinés et qui reçoit à ses extrémités un rail à demi-patin qui sert de guidage aux véhicules.

Enfin de distance en distance des croix de Saint-André placées dans le sens de la voie s'opposent aux mouvements longitudinaux de tout l'ensemble (fig. 181 — A — B).

En réalité le monorail est constitué par un rail porteur et deux rails de guidage.

Ce système a donné lieu à quelques concessions de lignes accidentées à faible trafic telles que Fleurs à Panissière (Loire) et en Irlande.

138. — Résumé. — D'une manière générale les traverses en acier paraissent avoir la préférence sur tous les autres supports métalliques, les essais se multiplient et certains profils réalisent toutes les conditions exigées d'une bonne traverse.

L'auge renversée et fermée aux deux bouts, le type de l'Ouest, le profil Ponsard, peuvent être rangés dans cette catégorie.

Les attaches des rails Vignoles sur les traverses doivent être réalisées de façon à assurer un écartement invariable, on fait usage de crapauds et boulons, de clavettes, de vis à fer etc.

Quant à la qualité du métal à employer on est généralement d'accord pour recommander l'acier doux, quoique des traverses en acier dur soient à l'essai et aient donné satisfaction jusqu'à présent.

Enfin, en ce qui concerne la question d'économie, les ingénieurs sont loin d'être d'accord, il convient d'ailleurs de bien se pénétrer des conditions spéciales d'établissement des lignes, de leur situation géographique à proximité plus ou moins grande, soit des forêts, soit des établissements métallurgiques.

Toutes ces questions doivent être mûrement pesées avant d'arrêter définitivement le type de traverses à employer.

On accorde assez généralement aux traverses d'acier une durée très longue qui peut être prudemment réduite à trente ans en Europe, tandis que les traverses en bois n'atteignent que quinze ans environ.

Les administrations de chemins de fer doivent donc examiner s'il leur convient d'augmenter leur capital de premier établissement en adoptant des traverses métalliques en vue de réaliser certains bénéfices pendant l'exploitation ou si, au contraire, obligées à de grandes économies dans la construction elles doivent employer de préférence des traverses en bois qui sont toujours offertes à un prix inférieur aux précédentes.

Dans tous les cas, il conviendrait d'adopter un système de support qui offre au moins la même durée que les rails.

Troisième classe. — *Voies à supports continus.*

139. — Longuerines en bois. — Dans les pays où le bois coûte peu et où le fer se tenait à un prix relativement élevé, on a cherché à combiner ces deux matières en vue d'utiliser leurs propriétés respectives : avoir une partie de la voie dure, résistant bien au roulement des véhicules, mais en la réduisant à son minimum de poids, et l'autre partie présentant une section normale suffisamment développée pour donner de la raideur et résister à la flexion transversale.

Cette association du bois au fer a pris tout d'abord un large développement dans l'Amérique du Nord, où, à l'origine des chemins de fer, on appliquait simplement une bande de fer plat de 60 à 70 millimètres de largeur sur 15 à 20 millimètres d'épaisseur, maintenue sur des longuerines en bois à l'aide de clous à tête fraisée. Mais sous le poids des véhicules, ces bandes de fer ne tardaient pas à se gondoler, à se laminer, et, par suite à déchausser les clous. La barre de fer plat manquait de raideur ; on lui en donna en adoptant la forme d'une équerre ; puis, pour ménager les roues, on arriva à la forme actuelle des rails à large base, mais avec une hauteur très réduite. En réunissant les longuerines par quelques traverses, l'ensemble prit une assiette satisfaisante, et une continuité de résistance qui rendait le mouvement des véhicules assez uniforme.

Ces avantages ont engagé le célèbre ingénieur Brunel à en tirer parti lorsqu'il établit le chemin à grande voie du Great-Western. Il se servit du rail en ∩ renversé qui porte son nom, le fixa sur des longrines réunies par des traverses à l'aide de harpons boulonnés. Pour augmenter la douceur de la voie et préserver le bois de l'incrustation des rails, Brunel interposait une lame de feutre.

En général, le système de voies sur longuerines présente une égalité de résistance transversale et une constance d'élasticité favorable à la conservation du matériel, ce que ne donne aucun autre procédé. En cas de déraillement les chances d'accidents seront diminuées ; enfin le système de longuerines emploie un cube de bois moindre que celui des traverses, en même temps qu'il permet de diminuer le poids du rail.

Mais ces avantages disparaissent devant les inconvénients du système.

Bien que réunies de distance en distance par des tirants en fer ou des traverses en bois, les longuerines se jettent de côté, surtout dans les courbes; elles se gauchissent en laissant le rail inégalement soutenu; les crampons plient ou cassent; le bois des longuerines et celui des traverses se pénètrent mutuellement; enfin, l'ensemble constitue de véritables caissons formant obstacle à l'écoulement des eaux de pluie, la face supérieure des bois reste à découvert, exposée aux influences météoriques, tandis que l'opposée baigne dans la boue. La voie devient bientôt très mauvaise, le rail se relâche de ses attaches, le bois pourrit très rapidement.

De plus, les réparations de la voie : relevage, bourrage, etc., sont bien plus difficiles qu'avec les traverses, à cause de la rigidité du système des pièces solidaires les unes des autres.

Enfin, au point de vue du prix de revient, les bois des longuerines coûtent beaucoup plus cher que ceux des traverses, car ils doivent être parfaitement équarris et l'on sait que le prix de ces pièces dépasse de beaucoup celui du bois flacheux destiné aux traverses.

Les longuerines ont été employées tantôt avec le rail Brunel — Midi, Bade, — tantôt avec le rail à large base — Amérique, Bade, ligne de Saint-Rambert à Grenoble — mais elles ont disparu depuis longtemps de ces différents chemins.

140. — Longuerines métalliques. — Les premiers essais dans la voie de la substitution des longuerines en bois ont été tentés par William Barlow, vers 1849-1850. Mais ses divers tâtonnements l'amenèrent au rail massif dont nous parlerons plus loin (142).

En 1853, M. Mac-Donnel établit sur le chemin de fer de Bristol à Exeter un rail Brunel porté par un fer à nervure formant longuerine. Malgré de nombreuses modifications pour éviter le ferraillement et l'usure des pièces, le système Mac-Donnel n'a pas réussi; l'assemblage de ces divers organes paraît jusqu'à présent éprouver des difficultés insurmontables; en outre, le support ne résiste pas aux déplacements latéraux.

Un ingénieur du Nassau, M. Hilf, a repris la question en 1865 en se posant le programme suivant :

La longuerine doit avoir une forme facile à obtenir au laminage, solide et stable dans le ballast.

La longuerine combinée avec le rail doit présenter une résistance suffisante pour toutes les charges que l'exploitation peut amener.

Le rail doit se composer du métal le plus résistant, se prêter à un fort

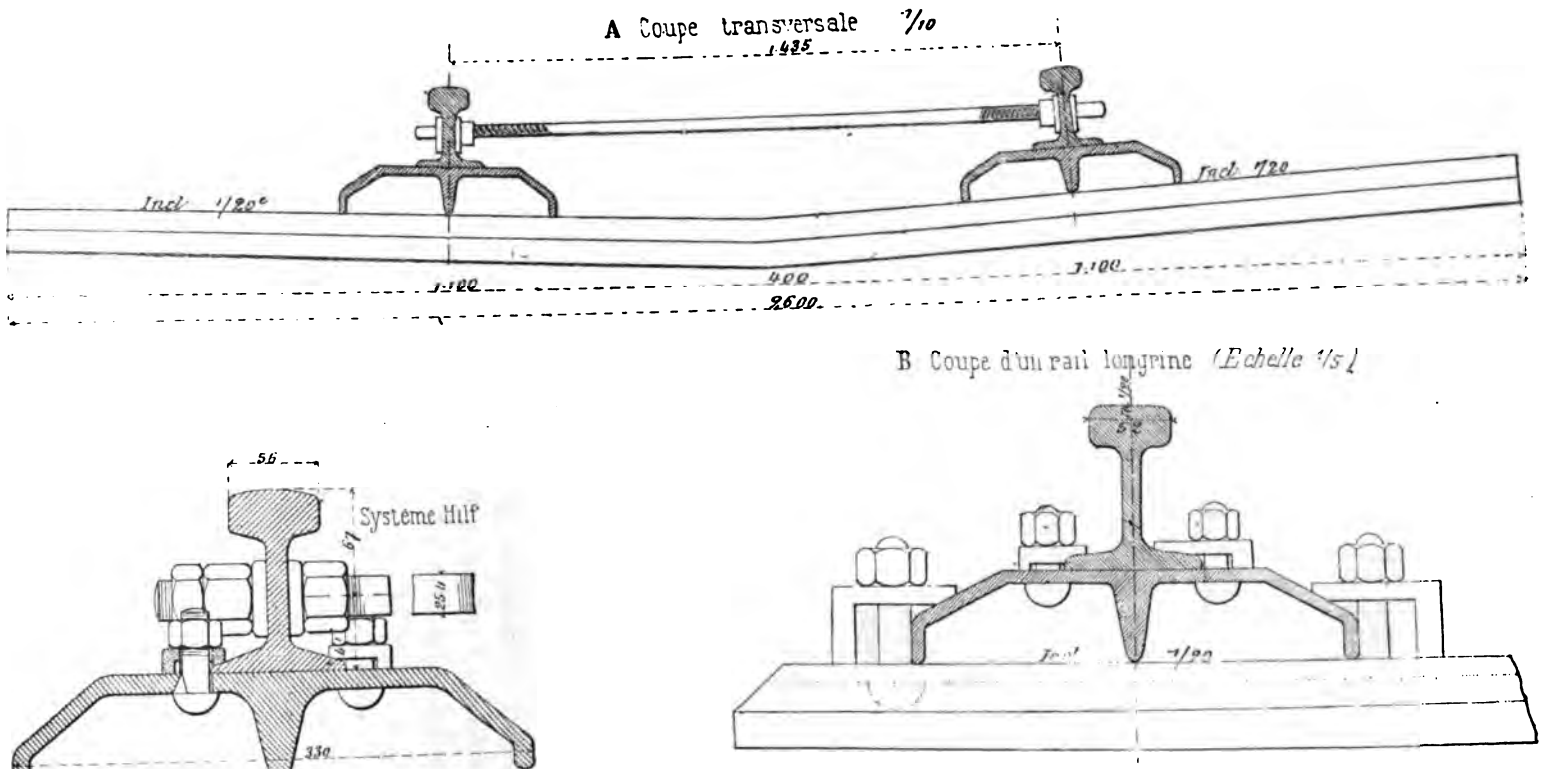


Fig. 182. Longuerine, système Hilf.

éclissage, et présenter un faible poids afin de diminuer les dépenses de remplacement.

L'assemblage du rail et de la longuerine doit être simple et solide, facile à monter sur place.

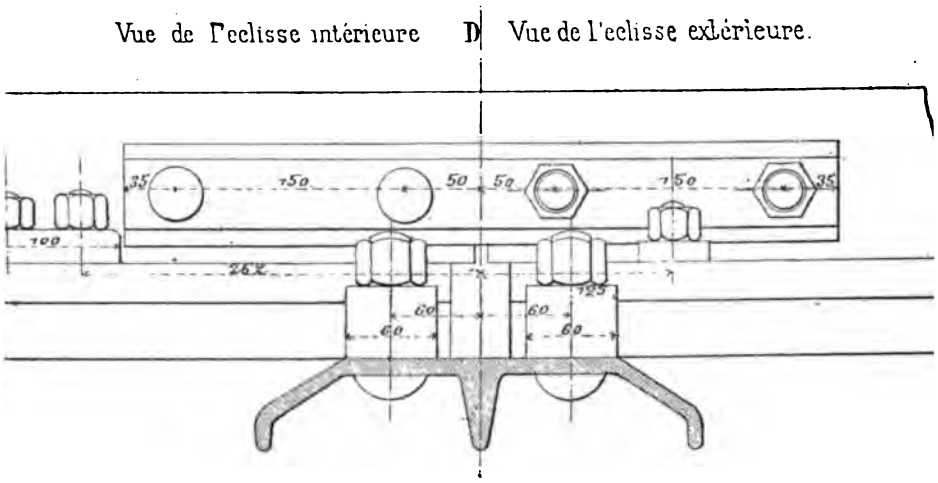


Fig. 182 *bis*. — Longuerine, système Hilf.

La réunion des deux files de rails doit être simple et disposée pour régler facilement la largeur de la voie.

Les figures 182 A-B-C et 182 *bis* D, représentent la disposition due à M. Hilf qui a été expérimentée dans la gare d'Asmanshausen, ligne du Nassau, en 1867. Afin de réduire les dépenses de l'expérience, on employa un rail à large base ordinaire, éclissé en porte-à-faux, rivant simplement le patin sur la longuerine en fer. L'expérience étant satisfaisante, le système fut appliqué en 1868, sur une section de 12 kilomètres entre Oberlahnstein et Ems. Enfin, d'après les résultats obtenus, le gouvernement a décidé qu'un embranchement de 29 kilomètres, celui du Westervalder — Aarthal, — serait exécuté suivant ce système de longuerines en fer portant un rail en acier, et depuis cette époque, on a appliqué ce système en Allemagne sur une vaste échelle.

Les chemins de fer de la Suisse occidentale et du Simplon ont établi des longuerines Hilf en acier doux correspondant à un effort de rupture de 40 à 45 kilogrammes par millimètre carré et s'en déclarent très satisfaits (1).

Les extrémités des rails reposent, par l'intermédiaire des longuerines, sur une traverse ayant le même profil que la longuerine, mais ayant l'inclinaison

(1) Voir Congrès des Chemins de fer, en 1889.

de 1/20 vers l'intérieur de la voie, en outre, une entretoise traverse l'âme des rails, au milieu de leur longueur (fig. 182 *bis* D).

La voie Hilf est encore posée entre Bettingen et Luxembourg et en Alsace-Lorraine.

En Autriche, on a un peu modifié le profil de la longuerine par l'addition de deux nervures aux angles de la table supérieure, qui servent de points d'appui aux crapauds de serrage.

Quand on étudie la composition de la voie, on se préoccupe à la fois de la question de la résistance et des moyens propres à assurer l'entretien, à réduire les frais de renouvellement. Dans cette étude, l'esprit est frappé de la nécessité où l'on se trouve, au bout d'un certain temps de service, de mettre au rebut un rail entier dont la surface de roulement est avariée, quelquefois même assez légèrement.

Dans cet ordre d'idées, certains ingénieurs ont cherché à s'affranchir de cette nécessité, en séparant le champignon qui s'use de la partie qui reste intacte plus longtemps dans le rail. De nombreuses tentatives ont été faites dans ce sens, en Amérique, en Angleterre et en Allemagne. Mais les difficultés d'assemblage et surtout le ferraillement qui en était la conséquence, ont fait abandonner cette idée après diverses expériences.

Ainsi, M. Heusinger von Waldegg, ingénieur en chef en Hanovre, a proposé le système représenté par la figure 183. Outre les divers inconvénients

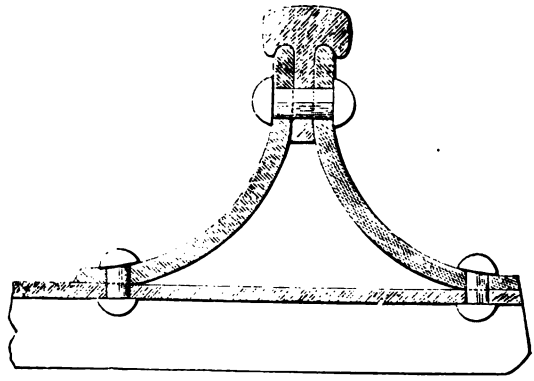


Fig. 183. — Projet de voie en fer, Heusinger (1/5).

inhérents à toute disposition résultant de l'assemblage d'éléments relativement légers, qui demandent une très grande précision d'ajustage impossible à réaliser pour une grande application, ce système possède encore celui d'une tendance très marquée au déplacement latéral.

Le système proposé en 1862 par M. Scheffler, et appliqué aux chemins de fer du duché de Brunswick, est représenté par les figures 184, 185, 186 (1).

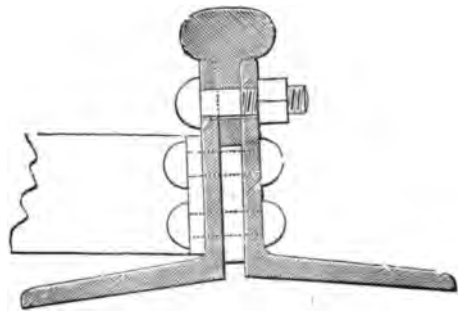


Fig. 184. — Voie de fer, système Scheffler.

Les supports en fer d'équerre sont réunis entre eux et avec la tige du champignon, à l'aide du boulon ordinaire et avec les entretoises, par des rivets ou des boulons.

La distance des boulons d'assemblage est de $0^m,40$ d'axe en axe.

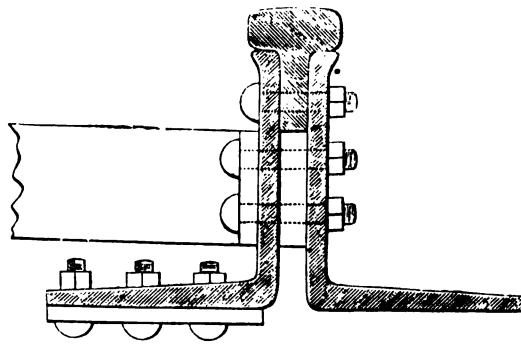


Fig. 185. — Voie en fer, Brunswick (1/5).

Les trous dans la tige des champignons sont ovales pour faciliter les mouvements longitudinaux.

Les joints des champignons et des supports sont croisés ; ceux des supports sont renforcés par une platine.

Ces deux applications de la même idée, — différant seulement par le mode de pose et par la hauteur des fers-supports de $0^m,145$ et $0^m,120$, — ont été posées l'une à côté de l'autre, entre Brunswick et Wolfenbüttel — 950^m de longueur — moitié sur bon ballast de gravier pur, moitié sur mauvais ballast de sable terreux peu perméable.

(1) Extrait d'une note manuscrite de M. Scheffler en 1868.

Les arêtes des fers d'angle ne sortent pas du laminoir parfaitement dressées ; aussi a-t-il fallu passer les fers sous la machine à raboter. Egalement en vue d'échapper à ce surcroît de frais, l'Ingénieur en chef de l'usine de Hoerde, M. Daelen, avait proposé de faire venir au laminage une saillie d'équerre qui donne de la raideur à l'arête supérieure. Cette disposition reproduite sur la figure 187, a été appliquée, depuis 1867, sur la ligne de Brunswick à Wolfenbüttel. Dans un premier essai de 1.500 mètres de longueur on s'était servi du mode d'arrêt du champignon par clavette filetée, indiqué par la figure 190. Cette attache n'est pas très solide et ne vaut pas le boulon à écrou ordinaire.

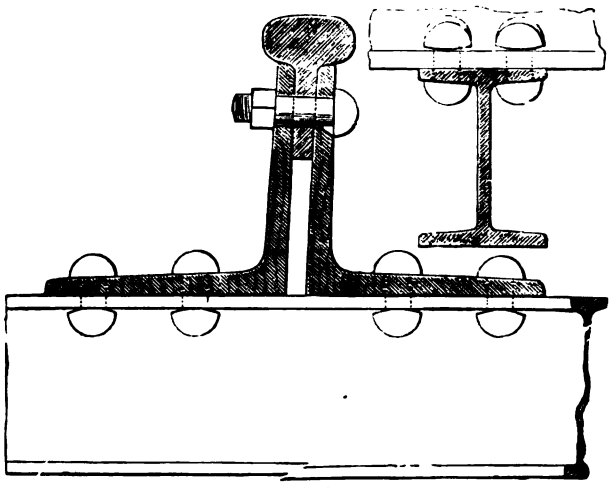


Fig. 186. — Voie en fer, Brunswick (1/5).

Le champignon était en acier fondu, mais tellement sec que plusieurs barres s'étaient brisées au déchargement ; ces ruptures se produisaient toujours au point où la tige du champignon est percée. Ces barres n'en ont pas moins servi. Cependant, dans le but d'éviter ce grave inconvénient qu'on aurait pu rencontrer dans l'application de l'acier fondu Bessemer peu ductile, M. Dealen avait proposé de donner à la tige du champignon la forme indiquée par la figure 187.

Cette disposition a eu son application dès 1868 sur la section comprise entre Kreiensen et Holzminden d'une longueur de 19 kilomètres 600 dont les rampes atteignent $0^m,012$ et les courbes descendent jusqu'à 550 mètres de rayon.

Le déplacement longitudinal du champignon est prévenu à l'aide d'une

clavette qui entre dans une entaille ménagée à l'extrémité de chaque barre. (fig. 188).

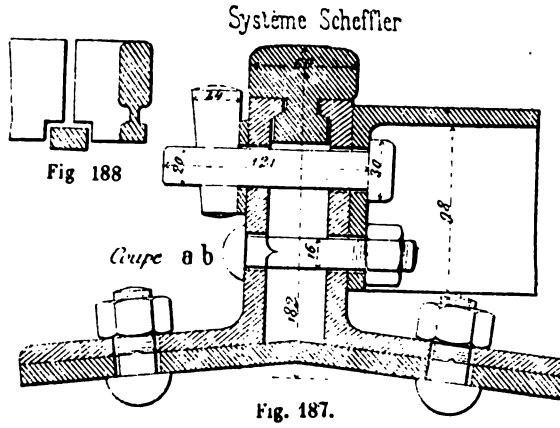


Fig. 187.

Comme prix de revient, voici le résultat des dépenses que ces expériences ont occasionnées, au mètre courant de voie :

La disposition de la figure	186	pèse	175 kg.,	prix :	55 fr,50	
— —	185	—	149 »	—	50 ,00	
— —	184	—	150 »	—	55 ,00	
— —	187	—	135 »	—	47 ,40	champignon en fer grain fin.
— —	187	—	135 »	—	48 ,40	champignon acier Bessemer.

La pose de ce système de voie revenait à l'origine des essais à 0 fr. 80 par mètre ; aujourd'hui elle ne coûte plus que 0 fr. 30, c'est-à-dire 0 fr. 15 de moins que la pose des rails Vignoles sur traverses ; mais les pièces sont toujours préparées à l'usine, même celles qui doivent être pliées pour les courbes.

L'épaisseur du ballast en dessous des longuerines en fer est de 0m,285 comme pour la voie sur traverses.

Il y a dans l'application de ce système une observation très importante et qui s'applique d'une façon générale à tous les genres de voies à longuerines : le bourrage sous les rails au bout d'un certain temps amène le ballast à l'état de masse tellement dure que l'écoulement de l'eau en est arrêté. Une disposition efficace de drainage nécessaire à ce genre de voie réclame encore sa solution.

En 1866, la direction du Hanôvre, a placé entre Göttingen et Bovenden

une longueur de 1.500 mètres de voie, établie d'après la disposition indiquée par les figures 189 et 190, ne différant du procédé Scheffler que par l'addition de cornières inférieures qui s'opposent au mouvement longitudinal.

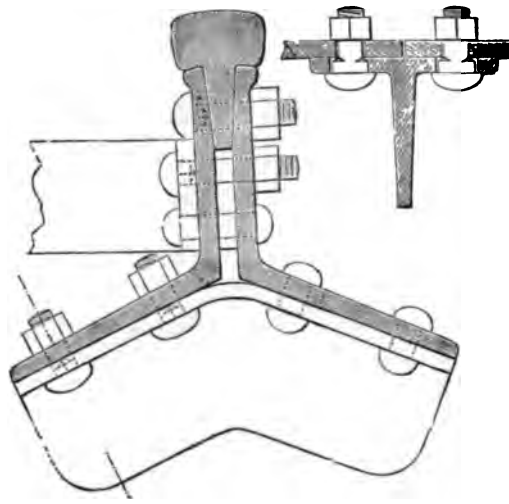


Fig. 189. — Voie en fer du Hanôvre (1/5).

On a posé d'abord 1.000 mètres de voie avec champignon en fer à grain fin et 500 mètres en acier fondu. Au bout de deux ans de service on a cons-

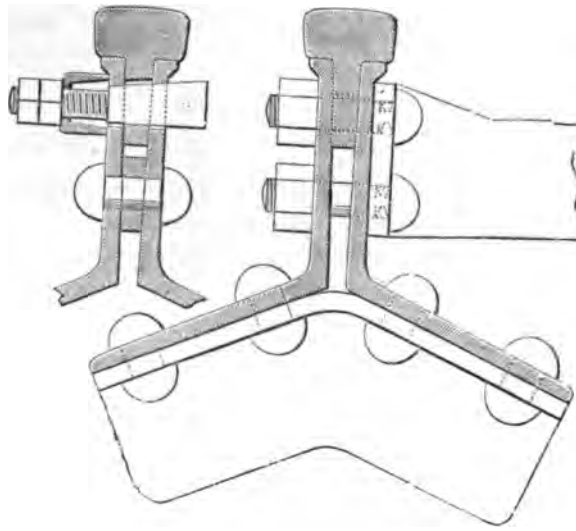


Fig. 190. — Voie en fer du Hanôvre (1/5).

taté que la dilatation causée par de hautes températures avait produit des inflexions latérales, par suite de l'adhérence des cornières inférieures faisant

fonction d'éclisses rivées aux supports longitudinaux, adhérence produite par la rouille qui rendit inutile l'ovalisation des trous des rivets. En été surtout, la voie était défectueuse.

Les champignons en acier se sont rompus en maints endroits, une rupture sur quatre barres de 6 mètres, deux ruptures sur quatre barres, et trois ruptures sur une barre. Les ruptures se sont principalement produites aux trous rectangulaires des clavettes filetées.

Le fer à grains ne s'est pas rompu, mais il présente de nombreuses fentes verticales bien connues des usines ; en un mot l'emploi n'en a pas été satisfaisant. Dans ce même laps de temps il fallut remplacer deux entretoises en fer brisées.

Nous signalerons aussi l'essai fait en 1867 par le chemin du Wurtemberg du système de M. Kostlin et Battig (fig. 191), sur l'une des voies comprises entre Aalen et Goldshofe.

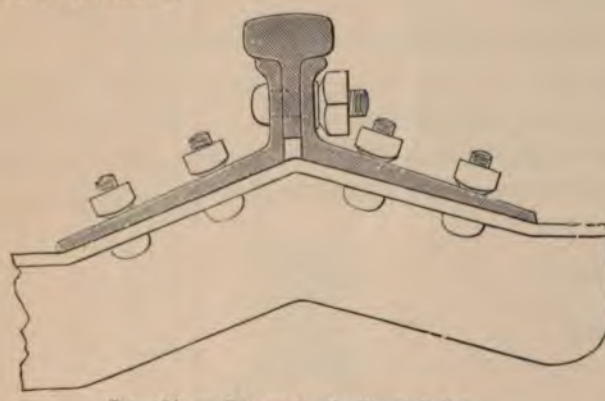


Fig. 191. — Voie en fer Kostlin et Battig.

L'expérience a donné de mauvais résultats attribués, partie aux dispositions vicieuses du système, partie à la mise en œuvre : nature défectueuse du ballast qui refusait à la voie une base convenablement résistante ; division du rail en trois parties consécutives rendant l'assemblage tellement difficile que la voie ne pouvait pas être maintenue en état convenable. La dilatation des barres n'étant pas libre, la voie devient cahoteuse en été, et les boulons d'assemblage se brisent. Le laminage des champignons sous l'action des roues paraît devoir accroître la tendance des rails au ferraillement.

Dans ce système, la voie pèse 136 kilogrammes : champignon 18 kilogrammes 70, chaque demi-longuerine 20 kilogrammes 20, une entretoise 10 kilogrammes chaque boulon pour assujettir le champignon 0 kilogramme 370 grammes et pour fixer l'entretoise 0 kilogramme 180.

La même administration a fait aussi l'essai sur 240 mètres de la disposition proposée par

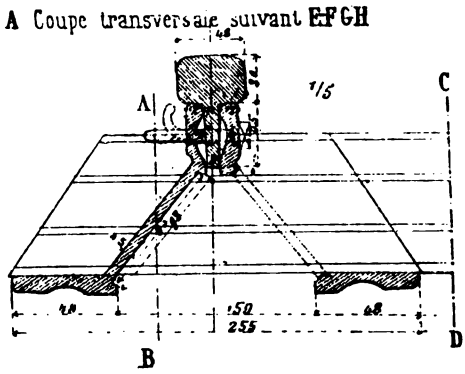


Fig. 192. — Coupe transversale.

M. Heusinger von Valdegg par l'entretoisement de deux files de rails (fig. 183).

D'après le relevé des frais d'entretien des différents systèmes de voies employés sur la même section, les dépenses annuelles par 100 mètres de voie étaient :

Voies sur dés en pierre.	29fr63
Voie sur traverses.	29, 96
Voie Kostlin et Battig.	84, 57
Voie Heusinger	150, 30

La disposition Sèrres et Battig représentée figure 192, consiste en une longuerine formée de deux parties symétriques dont les deux faces verticales viennent presser l'âme du rail d'un profil semblable au précédent et dont les deux ailes inférieures sont horizontales. L'écartement de ces deux paires de longuerines est maintenu au moyen d'entretoises.

Cette voie a donné d'assez bons résultats, mais en raison du prix de l'acier, elle ne paraît pas appelée à recevoir de nouvelles applications.

Elle a été essayée en Autriche-Hongrie aux chemins de fer de l'Etat (ligne de Vienne à Orsova) en Belgique aux chemins de fer de l'Etat (entre Buysingen et Hal), en Italie, à Milan ; en Hollande (près Boxtel), etc.

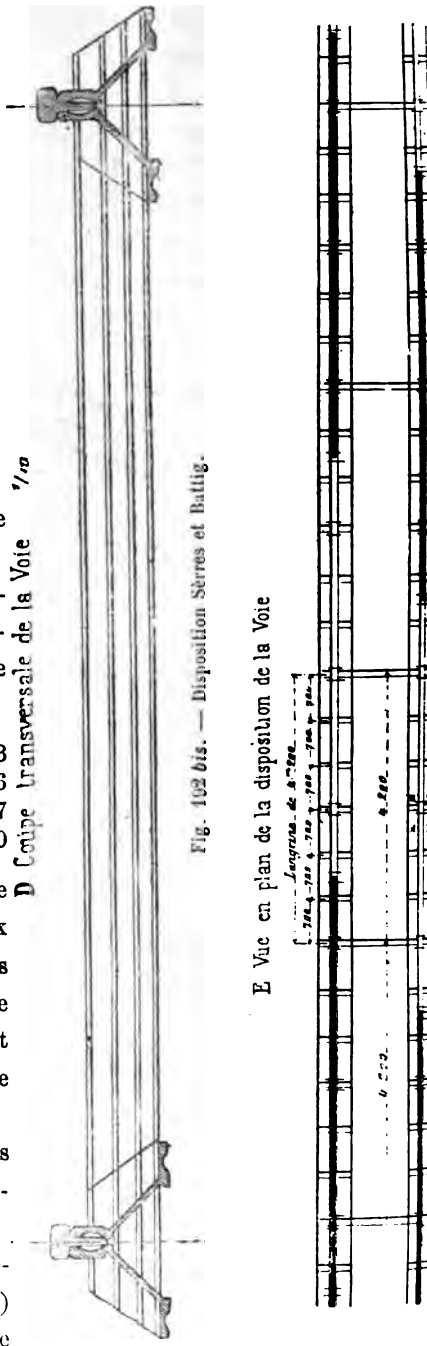


Fig. 192 bis. — Disposition Sèrres et Battig.

Nous ne citerons que pour mémoire le système Paulus essayé sur une longueur de 20 mètres dans la gare de Graz, ligne du sud de l'Autriche, et ceux de MM. Welkner, Jordan, Fellkampt et Daelen. L'essai de M. Paulus

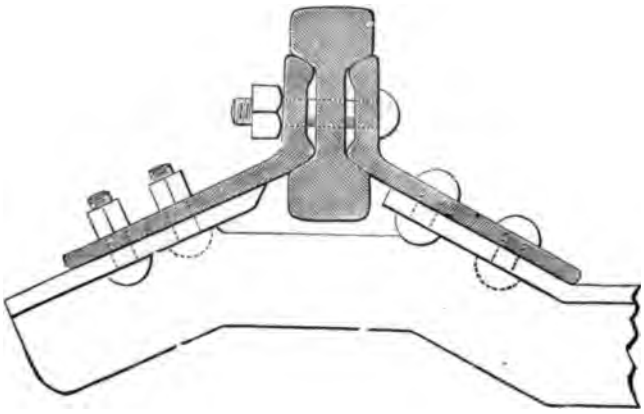


Fig. 193. — Voie en fer (1/5).

se compose d'une longuerine formée de deux vieux rails Vignoles posés à plat, les deux patins embrassant la tige d'un champignon en acier fondu, le tout serré par des boulons à écrous. L'entretoisement des deux files de rail est effectué par de vieux rails Vignoles renversés.

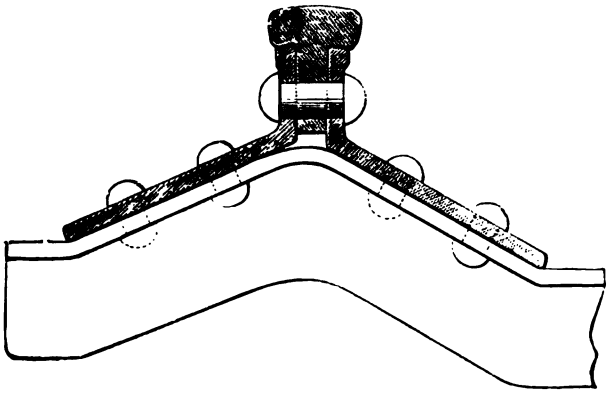


Fig. 194. — Projet de voie en fer.

L'ensemble du système de voie Paulus pèse 141 kilogrammes par mètre, le champignon et sa tige seuls 30 kilogrammes 35 ; l'essai a coûté 30 francs le mètre courant, les vieux rails étant pris à 11 francs les 100 kilogrammes. La voie s'est assez bien comportée, sauf des ruptures de champignons attribués à des défauts de qualité.

Nous nous contentons de reproduire dans les figures 193 à 196 les autres

systèmes, mais à titre de renseignements, ces projets n'ayant pas été essayés, et avec raison, croyons-nous.

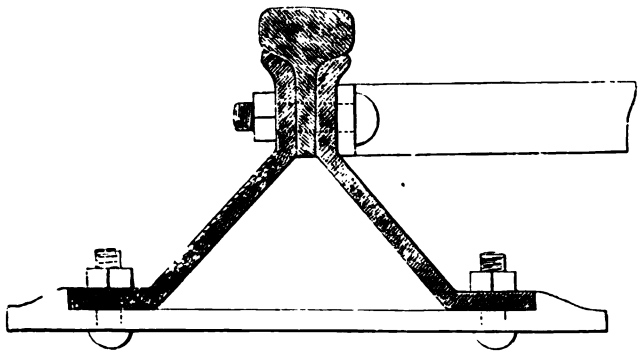


Fig. 195. — Voie en fer (Fellkampt).

Remarquons en passant que le système de M. Jordan (fig. 193) avec l'intention d'employer le rail à double champignon, présente d'un côté l'inconvénient d'exiger un poids considérable de la matière qui coûte le plus dans le rail composé, de l'autre l'avantage d'offrir une attache du champignon plus résistante que les autres systèmes.

Ce projet rappelle d'ailleurs celui de M. Mazilier.

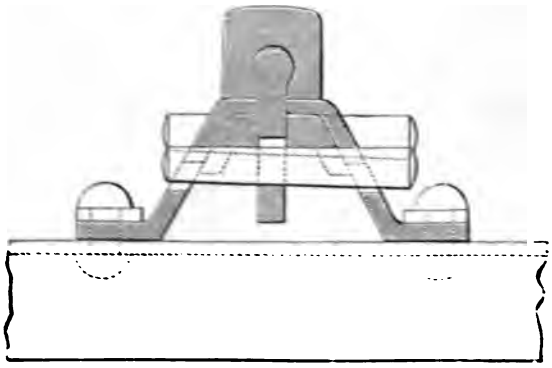


Fig. 196. — Voie en fer Daelen (1/5).

141. — Résumé. — Le principe de la voie composée de champignons reposant sur une large base continue, de résistance uniforme paraît être inattaquable en théorie ; mais la théorie n'a pas encore rencontré une solution satisfaisant entièrement aux conditions exigées pour l'entretien courant d'une voie en bon état, et nous pouvons dire que d'une façon générale les essais de ces dernières années se sont plutôt concentrés dans l'application de voies sur traverses.

4e CLASSE. — *Voies sans supports.*

142. — Rail Barlow (fig. 197). — Les défauts des rails composés de champignons assemblés sur des supports longitudinaux ressortent clairement des détails qui précèdent. Pour échapper à ces difficultés connues depuis longtemps, et conserver cependant l'avantage de la continuité des supports, M. William Barlow, ingénieur du Midland, a imaginé, en 1849, une disposition qui semble, au premier abord, devoir complè-

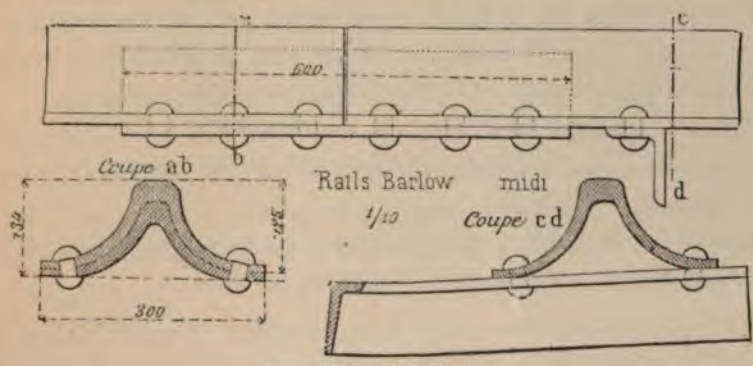


Fig. 197. — Rails Barlow.

tement résoudre le problème. Développant le rail Brunel en élargissant ses ailes, il le place directement dans le ballast, en réunissant les abouts des barres par une selle de même profil ayant $0^m,600$ à $0^m,750$ de longueur, et chaque couple de rails parallèles à l'aide d'une entretoise en fer cornière (fig. 197).

Accueilli avec enthousiasme, ce système a reçu dès l'origine d'importantes applications : dans la Grande-Bretagne et l'Irlande — lignes du Midland, Dublin à Belfast, Dublin à Ulster ; en France, sur les chemins de Bordeaux à Cette et de Narbonne à Perpignan ; mais il a été abandonné avec non moins d'empressement au bout de peu de temps, par suite de la rapide détérioration des rails. Deux causes contribuaient à cette détérioration : d'une part, la trop grande charge des véhicules relativement à la résistance propre des rails ; d'autre part, la qualité des rails.

Le défaut de résistance des rails à la pression des véhicules se manifestait par des flexions verticales qui rendaient la voie onduleuse et nécessitaient des relevages fréquents, et par suite des dépenses d'entretien très élevées. Le bourrage ne laissait rien à désirer, car au bout d'un certain laps de temps, le ballast formait sous le rail même un véritable conglomérat très dur, un véritable mur qui ne laissait aucun passage à l'eau ; mais le rail lui-même

manquait de raideur. L'excès de charge des essieux-moteurs des machines n'a peut-être pas été étranger à cette déformation de la voie.

Quant à la qualité des rails, son principal défaut était le manque d'homogénéité. Par le mode même de fabrication, le champignon, formé d'ailleurs d'un fer dur et plus épais que celui des ailes passait dans les cylindres sous une vitesse de beaucoup inférieure à celle des ailes. Le fer de ces dernières, plus mince que celui du champignon, se refroidissait plus vite et subissait des efforts d'extension plus grands que le centre du rail; il fallait donc composer le paquet en fer mou. De là des différences considérables dans le réchauffage des paquets et des tiraillements dans la contexture des barres, des défauts de soudure qui ne tardèrent pas à se manifester sur la voie.

Quant à la continuité de la voie, elle ne laissait rien à désirer, les changements de température n'exerçant aucune influence par suite de l'enfouissement des rails dans le ballast.

Aujourd'hui les rails Barlow ont fait place aux rails à double champignon portés par des coussinets en fonte et traverses en bois.

Rail Hartwich (fig. 198). — M. Emile Hartwich reprenant la question des rails sans supports, a proposé une solution plus radicale que toutes les autres. Conservant du rail Vignoles le champignon et le patin, il augmente la distance qui sépare ordinairement ces deux éléments. Par cet accroissement de hauteur, le rail acquiert une résistance aux efforts verticaux telle que la pression des véhicules se répartit efficacement sur une grande partie de la longueur de la barre, si la face de pose du patin sur le ballast trouve une base d'appui suffisante pour prévenir toute flexion verticale.

Pour donner à la voie une assiette solide, M. Hartwich place les rails sur deux murs formés d'un mélange de pierre cassée et de gravier pilonné dans deux rigoles de $0^m,470$ de large et $0^m,60$ de profondeur, creusées en dessous de la plate-forme des terrassements. Il réunit les deux files de rails à l'aide de boulons-entretoises espacés de $1^m,25$ en moyenne qui maintiennent la voie dans son écartement. Enfin de fortes éclisses réunies par 8 boulons et des platines de joint placées sous le patin et maintenues également par 8 boulons forment l'assemblage des abouts des rails; le tout est enfoui dans une couche de ballast qui s'élève jusqu'au-dessous du champignon.

Le premier essai de ce système, qui date de 1865, a été appliqué sur deux lignes de la Compagnie des chemins rhénans de Coblence à Oberlahnstein, et de Call à Mechernich (Eifel Bahn). Les rails de cet essai qui ont 288 millimètres de hauteur se développaient sur 375 mètres de voie seulement.

L'expérience ayant été satisfaisante, et démontrant que la résistance verticale était plus que suffisante, un second essai a été tenté en 1867 sur 19 947 mètres de la ligne de Kempen à Kaldenkirchen, avec des rails de 235 millimètres de hauteur (fig. 198).

Voici les dimensions et poids des parties constitutives de ce système:

Longueur du rail. . . .	7^m,533	Poids par mètre courant de rails	43^k,412
Hauteur du rail.	0 ,235	Longueur des éclisses. . .	0^m,392
Largeur du champignon. .	0 ,059	Long^r. des plaques d'appui.	0 ,484
Epaisseur de l'âme . . .	0 ,011	Largeur — — .	0 ,222
Largeur du patin	0 ,124		

Les premiers résultats de ces essais ont engagé la Compagnie des chemins rhénans à étendre l'emploi de la voie Hartwich sur la section de Neuss-Duren (45 kilomètres) et sur celle du chemin de la rive droite du Rhin comprise entre Ehrenbreitstein et Siegburg, environ 60 kilomètres.

Dans les autres voies Hartwich, on a supprimé les platines d'appui, mais on a porté la longueur des éclisses à 628 millimètres, et le nombre des boulons qui les relient à 12.

Quant aux entretoises, au lieu de se trouver alternativement en haut et en bas du rail comme à l'origine, elles sont placées à mi-hauteur du rail comme l'indique la figure 198, en vue d'éviter la flexion des tringles en cas de déraillement.

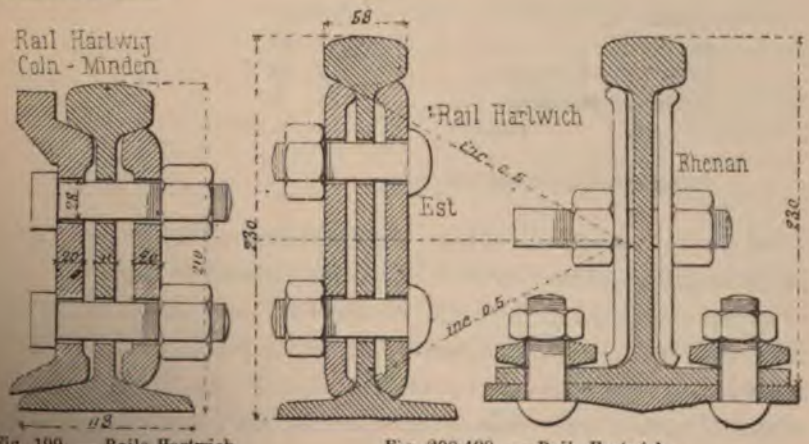


Fig. 199. — Rails Hartwich Coln-Minden

Fig. 200-198. — Rails Hartwich.

La Compagnie des chemins rhénans a introduit aussi dans les voies des principe du rail Hartwich, mais en réduisant sa hauteur à s et son poids à 36 kilogrammes par mètre courant.

D'autres Compagnies séduites par les résultats obtenus par la Compagnie rhénane, appliquèrent le système Hartwich plus ou moins largement. La ligne de Deutz à Mulheim (Compagnie du Coln-Minden), a été munie d'une voie Hartwich dont les rails avaient 210 millimètres de hauteur et étaient réunis par une éclisse renforcée.

Là le prix de revient ne s'est élevé qu'à 27 fr. 70 par mètre courant tandis que les voies ordinaires composées de rails de 131 millimètres de hauteur et de traverses en chêne préparé, coûtent 30 francs le mètre (fig. 199).

Dans cette application, les rails ont $6^{m},59$ de longueur. L'éclisse intérieure renforcée a un moment de résistance égal à celui du rail; sa longueur est de 628 millimètres; elle est maintenue par huit boulons, le joint débarrassé des platines d'appui.

La Compagnie des Chemins de fer de l'Est en France, a fait aussi l'essai du système Hartwich, sur la ligne principale de Paris à Strasbourg. Au mois de février 1869, une longueur de 1.200 mètres environ a été mise en expérience entre les stations de Gagny et Chelles, près Paris. On avait pris le rail de 235 millimètres de hauteur, avec des éclisses symétriques de 550 millimètres, dont la forme est un peu modifiée, comme l'indique la figure 200. Les plaques d'appui jugées inutiles étaient supprimées.

On a les poids suivants pour une longueur de rails de 6 mètres.

2 rails	$518^{kg},00$	
4 éclisses	54 , 60	
12 boulons d'éclisses	12 , 32	
5 tringles entretoises	35 , 75	
Total	———	$620^{kg},67$
Soit par mètre courant de voie		$103^{k},45$

Au moment des essais, le système Hartwich ainsi appliqué revenait à 1 fr. de moins que le système avec rails Vignoles et traverses en chêne.

La voie essayée par la Compagnie de l'Est était posée comme la voie ordinaire, avec une épaisseur de ballast en dessous du patin des rails de $0^{m},35$ environ. Elle se trouvait dans une tranchée dont la plate-forme se compose en grande partie d'argile glaiseuse difficile à assécher ; aussi l'état de la voie laissait-il à désirer car le bourrage transforme le ballast sous les rails en deux conglomérats très peu perméables à l'eau. [illegible] se rendre compte de l'effet qui se produit, il faut entrer dans [illegible] sur la construction même du chemin de fer [illegible] point.

A 1 kilo[illegible] dans une

tranchée remarquable par les difficultés que présente le maintien des talus. Les fossés qui bordent la plate-forme sont perreyés sur tout leur périmètre (fig. 16). Le ballast qui a 0,60 d'épaisseur est soutenu par le mur en pierre sèche. Il repose, tantôt sur la glaise verte, tantôt sur un sable argileux coquillé appartenant à la formation des marnes gypseuses du terrain tertiaire du bassin de Paris. C'est là que la voie Hartwich a été mise en place dans les derniers jours de janvier 1869. Pendant les mois de février, mars et avril l'entretien des 12.000 mètres réclamait la présence continue de l'équipe de quatre poseurs. Mais à partir du mois de mai qui a été particulièrement pluvieux, l'équipe n'a plus suffi à maintenir la voie en état. Sous l'influence de l'eau dont le ballast (sable et argile) ne peut se débarrasser la plate-forme de glaise cède et les rails s'enfoncent sous le poids des trains, principalement le rail intérieur de la courbe. La glaise remonte entre les rails et reflue vers le fossé dont le mur se renverse ou se boursoufle.

Le point le plus remarquable de cette expérience très intéressante c'est le joint des rails. Malgré la raideur des rails dans le sens vertical, malgré la très grande résistance des éclisses les joints s'abaissent et présentent une flèche qui atteint jusqu'à 2 c., de telle sorte que les rails assemblés forment une série d'ondulations. Quand on veut redresser les joints, il faut découvrir 2 longueurs de rails pour permettre aux fers de reprendre leur forme.

Pour arrêter l'affaissement des joints, les poseurs dans l'impossibilité de maintenir la voie ne trouvaient rien de mieux que de la soutenir par des traverses : mais c'eût été la négation du système, on l'a interdit, on a augmenté le nombre d'hommes et on a entrepris de grands travaux d'assainissement.

La plate-forme a reçu un drain collecteur dans l'axe de l'entrevoie destiné à attirer les eaux de la tranchée, même celles des fossés latéraux, puis recoupant transversalement le ballast par des tranchées pleines de cailloux cassés, on espérait que la voie se maintiendrait quoique le joint fut toujours un point faible. Les expériences très intéressantes faites par les ordres de M. Ledru-ingénieur en chef, sur la résistance propre des rails Hartwich, avaient laissé croire que la voie ainsi constituée présenterait toutes les conditions de résistance voulues.

Deux rails posés sur des supports écartés de $2^{m},70$, le joint éclissé placé à égale distance des supports, ont été soumis à des pressions statiques de 1.000 à 25.000 kilogrammes.

Entre 15.000 et 17.000 kilogrammes le joint commence à fléchir et les
[illegible]t charge. De 17 à 18.000 kilogrammes l'âme du rail se fend;
[illegible]tant, le patin et le champignon s'écartent l'un de l'autre

sous les réactions de l'éclisse; enfin quand la pression passe de 22 à 25.000 kgr. l'âme se déchire ainsi que l'indique la figure 201, qui représente les rails *a a* cassés dans deux expériences successives.

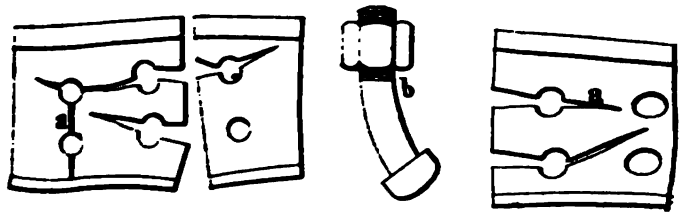


Fig. 201. — Est.

Les boulons du haut des éclisses sont à peine altérés, ceux du bas *b* fortement pliés et les trous extrêmes au bas de l'âme ovalisés de $0^{m},006$. Quant à l'éclisse, elle n'a subi d'autre altération qu'une légère courbure horizontale dont la flèche atteint à peine 5 millimètres.

Il résulterait de ces épreuves que la voie Hartwich est susceptible de résister aux efforts les plus intenses que les véhicules peuvent lui imposer, même en supposant que le bourrage soit incomplet sur une longueur de 2 à 3 mètres à la condition toutefois qu'elle trouve une base d'appui suffisamment résistante. A Gagny comme à Taverney, l'application démontre que la résistance du sol est insuffisante sous les trains, et encore faut-il observer que l'essai se fait à 1 kilomètre d'une station et sur une pente de 3 mil., 5, c'est-à-dire en un point où les vitesses n'ont rien d'exagéré. Il importe de remarquer enfin que la voie Vignoles sur traverses en bois placée à côté de la voie Hartwich et dans les mêmes conditions se comporte très bien.

Pour assurer plus complètement la rigidité du joint il aurait été prudent de porter la longueur des éclisses à 820 millimètres au moins et le nombre des boulons à 12, en écartant les trous du milieu de 200 millimètres d'axe en axe et les autres de 130 millimètres.

De plus, dans le cas de mauvais terrains, il faudrait réunir les deux files de rails sous les joints par une traverse en fer rivée aux patins des rails, afin de donner à l'assiette de la voie une plus large base.

144. — Conclusion. — De tous les essais de voie métallique sans supports, celui du système Hartwich paraîtrait offrir le plus de garantie au point de vue de la résistance verticale et de l'entretien courant, si l'on pouvait lui donner une base d'appui convenable. Mais il reste encore plusieurs inconnus à dégager dans le problème : difficulté de bourrage uniforme, assè-

chement de la voie, base d'appui suffisante dans tous les cas, d'une part, et frais de renouvellement de la voie, d'autre part.

Dans le rail, c'est la surface de roulement qui se détériore en premier lieu, et quand le champignon est hors d'usage, le rail en entier doit être réformé. La perte est donc plus grande avec le rail Hartwich ou le rail Barlow qu'avec tout autre système.

L'emploi de l'acier livré à des prix de plus en plus réduits paraît tout indiqué dans le cas où l'activité de la circulation ferait craindre une usure rapide.

Les divers essais que nous avons signalés méritent l'attention des hommes de l'art et leurs investigations les plus sérieuses, car la réduction des frais de construction et d'entretien des chemins de fer est un des points capitaux de l'industrie des transports. (Tome II).

§ II

Profil transversal

145. — Généralités. — Le profil transversal d'un chemin de fer est susceptible de nombreuses variations dépendant :

De l'importance du trafic ;

De la vitesse des trains ;

Des dimensions arrêtées pour les véhicules ;

De la configuration du sol, de sa nature ;

Du climat ;

Des localités traversées ;

Des conditions d'établissement du chemin, etc. etc.

La largeur de la voie est déterminée par des considérations très diverses et d'ordre très différent. Dans un grand pays déjà sillonné de nombreux chemins de fer, ou dans une localité où les prolongements d'autres voies ferrées déjà construites peuvent amener un trafic important dont le transbordement serait onéreux, l'hésitation sur le choix de la largeur de la voie [illegible] pas possible, et la force des choses entraîne l'adoption de la largeur [illegible] lignes. Mais quand il s'agit de créer de toutes pièces un réseau [illegible] important dans un État d'une grande étendue ou dans un [illegible] isolé, ou enfin lorsque le trafic probable ne répondrait

[illegible]

[illegible]

146 — Largeur de la voie. — Quand l'usage du rails à dessiner et au [illegible] l'accroissement du nombre des chemins de fer eut déterminé le type du rails, il fut [illegible] de régler la *largeur de la voie*, distance qui sépare les deux files de rails.

La largeur des premiers chemins de fer à grande circulation eut pris un développement important dans les environs de Newcastle. Ils eut succédé aux voies de voie dans les proportions des ornières avaient garni les routes de voie ainsi d'en diminuer la largeur et les frais d'entretien et d'augmenter la charge des wagons.

Les wagons en voie étaient primitivement furent garnis de bandes de fer pour [illegible] enfin les voies mixtes disparurent devant les [illegible] et les barres à côté saillant [illegible]. La [illegible] de ces barres correspondait à l'écartement des voies des chemins de fer, soit 4 pieds 8 pouces et demi, [illegible]. En ajoutant à cette dimension celle de deux [illegible] on a l'espacement officiel d'axe en axe des rails en France [illegible] dans les premiers cahiers des charges et qui a été suivi par toutes les Compagnies françaises et la presque totalité des lignes d'Europe et d'Amérique.

Cette largeur de voie mesurée d'axe en axe des rails étant fixe, la distance des surfaces intérieures des champignons varie suivant le profil du rail adopté, ce qui présente des inconvénients lorsque les véhicules d'une ligne sont appelés à circuler sur une ligne étrangère à son réseau.

On a été ainsi amené à considérer comme largeur des voies non pas la distance des axes des rails mais l'écartement intérieur des boudins et à s'appliquer à fixer cette largeur d'une manière invariable.

La largeur de la voie dite normale, qui varie de $1^m,435$ à $1^m,45$ n'a pas été définitivement adoptée sans conteste, car lorsque le trafic des chemins de fer prit un grand développement, les ingénieurs chargés de la construction de certaines lignes crurent devoir prendre un plus grand espacement des rails afin d'augmenter les dimensions et la puissance des machines. Les considérations sur lesquelles ils s'appuyaient étaient parfaitement fondées, mais elles arrivaient trop tard. Le réseau des voies à $1^m,435$, s'étaient développé de toutes parts, et quand les différents écartements se trouvèrent en contact, les raccordements pour le transit des véhicules devinrent impossibles en pratique courante. Il fallut opter et ce fut la voie réduite qui l'emporta.

Trois États européens, la Russie, l'Espagne et le Portugal, ont néanmoins persisté dans leur choix d'une largeur de voie différente ; mais cette détermination prise en vue d'un intérêt stratégique n'aura toujours qu'une faible influence sur les résultats économiques de l'exploitation, car cette augmentation de largeur n'est pas suffisante pour donner au matériel moteur et roulant une ampleur convenable et caractéristique.

Voici les largeurs de voie supérieures à la largeur normale adoptées dans différents pays :

Angleterre	$2^m,133$	Inde	$1^m,676$
Hollande	2,133	Espagne	1,670
Irlande	1,878	Portugal	1,670
	1,600	Canada	1,600
Amérique du Nord	1,828	Brésil	1,600
Ecosse	1,676	Australie	1,600
Chili	1,676	Russie	1,523

147. — Largeur de voie des chemins économiques. — Nous avons examiné (113) les différentes questions qui conduisent à l'adoption d'une voie de largeur réduite.

L'annexe S donne comme exemple les dimensions des organes de différents chemins économiques en exploitation à l'aide de locomotives. Nous présentons ci-dessous un tableau de diverses largeurs usitées dans différents pays.

Inde anglaise	$1^m,219$	Tavaux Ponséricourt	$1^m,000$
Lambach à Gmunden	1,106	Porto-Rico	
Anvers à Gand	1,100	Thessalie, Myli Kalamata	
Mondalazac	1,100	Chemins de fer du sud de la France	
Norwège	1,067		
Australie	1,067	Chemins de fer de la Drôme, de l'Allier, etc.	$1^m,000$
Mine de San Domingos, Portugal	1,067		

Commentry	0m,950	Pestinioc	0m,610
Ballymena à Cushendall (Irlande)	0,914	Ateliers du North-Western-Ry	0,457
Blanzy	0,890	Voies industrielles Decauville	0m,600 à 0,450
Bröhlthal	0,785		

148. — Entrevoie et accotement. — La largeur de l'entrevoie et celle de l'*accotement* (1) peuvent varier pour un même pays entre certaines limites ; cependant il ne faut pas perdre de vue en fixant ces largeurs que telles dimensions reconnues suffisantes au moment de la construction peuvent quelques années après se trouver trop faibles pour répondre aux nécessités du service. C'est ainsi que des voyageurs et des agents de l'exploitation des chemins de fer ont été et sont journellement victimes de leur imprudence quand, malgré les recommandations les plus expresses ils sont heurtés par le parapet d'un pont, le mur ou le tablier d'un passage par dessus, le pied-droit d'un tunnel, le tuyau d'une colonne alimentaire, ou enfin la portière d'un vagon qui se trouve sur une voie latérale, etc...

L'établissement du contrôle de route, très-utile au point de vue financier des intérêts de l'exploitation et rassurant pour les voyageurs, ne peut être établi sur toutes les lignes françaises, par suite du manque d'espace. La Commission de l'enquête de 1862 s'exprime à ce sujet dans les termes suivants :

« Le contrôle de route est partout impossible du côté de l'entrevoie ; il n'est possible sur l'accotement qu'avec une distance de 1m,30 entre l'axe du rail extérieur et les parois d'ouvrages et objets de toute nature placés sur le flanc de la voie. Cette distance de 1m,30 peut d'ailleurs n'être considérée qu'à 1m,20 au-dessus du rail (hauteur de l'arête supérieure de ladite portière) au-dessus de ce même rail.

« Si l'on considère les ouvrages de 7m,40 de large prescrits par les premiers cahiers des charges, la discussion des profils fournis dans chaque service de contrôle fait voir que l'accotement n'y a point généralement 1m,30 de large. Pour obtenir cette largeur il faut rapprocher les deux voies l'une de l'autre aux dépens de l'entrevoie.

« Sous les ouvrages d'art le chemin devrait donc présenter le profil indiqué par la figure 202 c'est-à-dire que l'entrevoie devrait y être réduit à 1m,78.

(1) On désigne sous le nom d'*accotement* ou *marchepied* l'espace compris entre le rail extérieur et les parties d'ouvrages d'art qui s'élèvent au-dessus de la plate-forme, ou l'arête de rencontre du plan de la voie avec le plan du talus limitant la couronne des terrassements.

« Dans les ponts et tunnels à plein cintre où la courbe de la voûte prend rapidement naissance l'accotement de $1^m,30$ ne suffirait point pour le développement de la portière et il faudrait sous ces ouvrages diminuer encore davantage l'entrevoie.

Cette réduction excessive pourrait entraîner la modification des gabarits de chargement et apporter un trouble considérable dans le service des marchandises. Il convient donc tout d'abord d'admettre que sur certaines lignes et en certains points les Compagnies devront suspendre l'exercice du contrôle de route ».

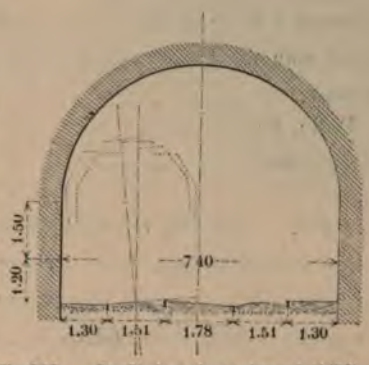


Fig. 202. — Profil de voie en tunnel (1/50).

Il est résulté de l'enquête (48) qu'on ne peut compter sur un contrôle de route facile qu'en donnant aux tunnels une ouverture de 8 mètres entre les pieds-droits, et aux viaducs en dessous une largeur de 8 mètres entre les parapets (fig. 202).

Fig. 203. — Profil de la voie sur un ouvrage d'art (15/1000).

Nous avons vu, en traitant la question de consolidation des talus, de quelle influence était la nature des terrains traversés sur la forme à donner au profil du corps de la route.

En tranchée, l'inclinaison des talus dépendra de la profondeur de l'excavation, de la qualité des terrains rencontrés, du prix du sol à acquérir. Cependant aux abords des villes, et le long des cours d'eau, au lieu de limiter le chemin par des talus inclinés, on peut, au moyen de murs de soutènement se borner à n'occuper que l'espace strictement nécessaire à l'établissement de la voie, évitant ainsi l'acquisition de surfaces coûteuses ou l'exécution souvent difficile et ouvragée d'une dérivation.

[illegible] la traversée des forêts, il faut se préserver des chances d'accidents [illegible] résulter de la chute des arbres sur la voie, des incendies causés par

les étincelles s'échappant des cheminées des locomotives, des embarras causés par la présence des feuilles sur les rails, etc.; dans ce cas, une large emprise de terrain est de toute nécessité. Eu égard aux incendies, on creusera, parallèlement à la voie, des fossés destinés à arrêter la propagation du feu, en ayant soin de donner une plus grande profondeur au fossé limitant l'essartement.

Enfin, nous rappellerons à ce sujet les dispositions à prendre pour prévenir les amoncellements de neige (38 et 251).

149. — Profil de la plate-forme. — Pour établir et conserver une voie en bon état, il faut, autant que possible, la protéger contre l'action des eaux. En examinant les divers moyens employés pour assécher la couronne des terrassements (chap. II). Nous avons essayé de faire ressortir toute l'importance des écoulements d'eau; il nous reste à étudier le profil de la voie le plus convenable pour atteindre le but proposé.

Si les rails et leurs supports reposaient directement sur la plate-forme des terrassements composée dans la plupart des cas, de terrains imperméables, ils ne tarderaient pas à manquer complètement d'assiette, surtout après quelque temps d'humidité.

Pour leur donner un appui suffisant en répartissant sur le maximum de surface la pression qu'ils subissent, il faut interposer entre ces supports et la plate-forme du chemin une matière présentant une grande résistance à la compression et aux influences atmosphériques tout en offrant une certaine élasticité. Tel est le but du ballast (151). Pour satisfaire aux conditions à remplir, le ballast doit être facilement perméable et ne se laisser ni détremper par l'humidité prolongée, ni attaquer par la gelée.

La forme que l'on donne à la couche de ballast dépend de sa nature et des conditions dans lesquelles se trouve le chemin. En Angleterre et en France, à peu d'exception près, la couche de ballast est simplement posée sur la couronne des terrassements, le pied de ses talus se trouvant à une certaine distance du bord de la plate-forme (fig. 204).

Fig. 204. — Profil des vo et anglaise (15/1000).

En Allemagne, on établit q

largeur de la plate-forme, quand celle-ci se trouve dans un terrain argileux, humide (fig. 205). Cette disposition permet d'économiser les frais de rigoles qu'on doit établir à des distances assez rapprochées, 3 à 4 mètres environ,

Fig. 205. — Profil de la voie allemande (15/1000).

quand on encaisse le ballast d'après le système en cuvette ; mais c'est ce dernier système qui est le plus généralement appliqué en Allemagne, en Belgique et en Suisse (fig. 206). Il présente sur le premier l'avantage d'employer une moindre quantité de ballast pour l'établissement de la voie et de se prêter mieux à la formation d'un lit de cailloux par assise ; mais on prétend, sans citer de preuve à l'appui, que l'assèchement doit en être plus difficile, et

Fig. 206. — Profil des voies Belge et Suisse (1/150).

par conséquent, la destruction des traverses plus rapide que dans le système généralement appliqué en France. La voie de Strasbourg à Bâle était primitivement disposée dans ce système et les traverses en chêne sans préparation y ont duré plus de 15 ans, mais dans un bon ballast il est vrai.

Plusieurs lignes allemandes — Altona-Kiel, — Berlin-Magdebourg, — Etat Hollandais, — Sud de l'Autriche, — en recommandent l'emploi pour opposer au déplacement latéral des voies dans les courbes un obstacle assez résistant tout en étant suffisamment perméable. Notons encore qu'il est plus économique d'établissement, car il réduit d'un demi-mètre cube la quantité de ballast nécessaire par mètre courant de plate-forme.

Cette réduction représente une économie de 1.500 à 2.500 francs par kilomètre. Cette disposition permet également de réduire la largeur totale des terrains nécessaires à l'établissement de la ligne de celle des talus du ballast

certains cas, peut s'élever jusqu'à $1^m,50$, soit $0^m,75$ de chaque côté.

tre des localités où le prix du terrain dépasse 1 franc,

carré, on voit qu'il peut y avoir intérêt à réduire

min en couronne.

ballast se compose de deux couches : la pre-

pports, doit réunir toutes les qualités indi-

quées plus haut ; la seconde destinée à maintenir les supports dans leur position et à les rendre solidaires les uns des autres, peut être composée de matières plus faciles à rencontrer — 151 —. L'épaisseur de la première couche de ballast, celle qui donne à la voie sa stabilité, est variable selon la nature du terrain qui lui sert de base : si le corps de la route est facilement perméable, il suffit de donner au ballast de pierrailles ou de gravier 0,15 à 0,18 d'épaisseur; si l'on n'a que du sable à sa disposition, il faut porter la couche inférieure à 0,25 et 0,30. Ces nombres sont augmentés de moitié si la plate-forme ne peut pas être complètement asséchée.

La seconde couche s'élève jusqu'au-dessous des rails dans la voie Vignoles et jusqu'au-dessus des coins dans celle à coussinets.

Ces bases étant posées, il faut déterminer le profil en travers de la voie en l'appropriant aux circonstances locales.

Les données invariables pour une ligne de chemin de fer sont : *l'entrevoie, la largeur de la voie et l'accotement;* ces données ont pour la voie ordinaire de $1^m,45$ entre boudins intérieurs des rails les valeurs suivantes :

Chemins à 2 voies

Entrevoie	$1^m,80$ à	$2^m,20$
2 largeurs de voie ($1^m,44$ à $1^m,45$).	2,88	2,90
2 accotements ($1^m,20$ à $1^m,75$)	2,40	3,50
4 largeurs de rails ($0^m,06$)	0,24	0,24
Largeur totale en couronne	7,32	8,84

Chemins à 1 voie

Largeur de la voie	$1^m,44$ à	$1^m,45$
2 accotements ($1^m,20$ à $1^m,50$)	2,40	3,00
2 largeurs de rail	0,12	0,12
Largeur totale en couronne.	3,96	4,57

Telles sont les largeurs minima de tous les profils transversaux à la hauteur du plan passant en dessous des rails.

Si ce ballast est encoffré conformément aux types des chemins du Palatinat (fig. 207) de Bavière (fig. 208), de Suisse, de Belgique (fig. 206) etc.

Fig. 207. — Profil de la voie du Palatinat (15/1000).

ou s'il occupe toute la [illegible] de la plate-forme [illegible] chemins de

fer de Bade et de Hanovre (fig. 205), les dimensions précédentes représentent la largeur adoptée par la couronne du chemin au niveau des rails.

Fig. 208. — Profil de la voie Bavaroise (15/1000).

Si on réserve deux banquettes de chaque côté du ballast posé librement sur la plate-forme (fig. 204), on ajoute à cette largeur celle des deux banquettes qui varie de $0^m,70$ à $1^m,50$. La largeur en couronne des terrassements sous le ballast, prend alors les dimensions suivantes :

Chemins à 1 voie.	de $4^m,66$ à $5^m,27$
	« 5 ,56 à 6 ,07
Chemins à 2 voies	de 8 ,02 à 9 ,54
	« 8 ,82 à 10,34

Dans les tranchées, la couche de ballast doit être, autant que possible, protégée contre les érosions que produisent les eaux coulant au pied des talus ; ce résultat n'est obtenu qu'en ménageant des fossés en contrebas de la plate-forme des terrassements, comme l'indiquent les figures 204 et 206.

Les dimensions de ces fossés varient suivant les pays avec l'importance de la tranchée et la surface des talus qui viennent y déverser leurs eaux. Une largeur en plafond de 0,20 à 0,50, selon le cas, est généralement suffisante surtout si on a pris la précaution d'établir une rigole au-dessus et en arrière de la crête des talus pour empêcher les eaux provenant des terrains supérieurs de descendre dans la tranchée — 22 —.

Afin de réduire la largeur de la plate-forme à un minimum, quand les circonstances locales empêchent de faire une large emprise de terrains, on limite la couche de ballast par deux murettes qui le soutiennent, tout en laissant filtrer les eaux (fig. 209).

Fig. 209.
Murettes soutenant le ballast.

En étudiant les divers profils, on ne doit pas perdre de vue les modifications que peuvent
'érentes espèces de terrain
III).

'evoir recommander l'exécution d'une banquette sur

l'un au moins des côtés des fossés, si l'on ne peut en ménager une seconde de l'autre côté. S'il n'y a qu'une banquette, on l'établira au pied du ballast, dont les parties éboulées pourront y être reprises ; ainsi placée, la banquette sert aussi à la circulation des agents de la voie.

Au lieu du fossé et de la murette, le chemin rhénan fait passer dans les tranchées en rocher un drain longeant le pied du talus et étend le ballast jusqu'au pied de ce talus.

La Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée prend des dispositions analogues mais remplace le drain par un caniveau recouvert.

La figure 149 représente le profil que M. Bergeron a proposé de donner à la voie des chemins de fer économiques. Ce profil aurait l'avantage de réduire très sensiblement les surfaces d'emprise des terrains, de faciliter la pose de la voie et le service des gardes. En reportant la voie d'un côté des terrassements, ce projet présenterait plus de solidité sur les parties situées à flanc du coteau. Mais sur remblai en cas de déraillement les accidents seraient peut-être plus graves ; aussi l'application ne saurait en être conseillée pour les lignes à grande vitesse.

En adoptant une voie de largeur réduite on diminue par suite les dimensions principales du profil de la voie.

Les dimensions réduites ci-dessous ont été proposées :

ÉLÉMENTS	Société des chem. de fer économiques	Chemins de fer de Thessalie	Chemins de fer Decauville	Chemins de fer du départ' d'Alger
Largeur de la voie	1m	1m,00	0m,75	0m,75
accotements	1	1,40	0,77	1,25
largeurs de rails		0,10	0,06	
Total	2m	2,50	1,58	2,00
Largeur en couronne des terrassements	3m,50	4,00	2,38	3,80

Ces dispositions arrêtées, on recherche les moyens les plus propres à donner dans chaque cas particulier, une assiette solide aux supports des rails ; les exemples suivants peuvent guider l'ingénieur dans le choix des dispositions qui s'approprient le mieux aux conditions de la ligne.

Quand le ballast est coûteux et qu'on peut se procurer de la pierre cassée,

les ingénieurs allemands adoptent le profil indiqué par la figure 207. Lorsqu'il est indifférent d'employer la pierre cassée ou le gravier, et qu'il y a lieu d'en réduire le volume, on ménage dans la plate-forme un coffre pour chaque voie. Le profil de la figure 208 représente le système appliqué sur l'une des lignes du Palatinat bavarois et sur la ligne de Francfort-Bamberg. Le profil des lignes prussiennes, belges et suisses (fig. 206) se rattache aux systèmes précédents, bien que les premières n'emploient généralement que le sable très fin pour ballast tandis que les lignes suisses se servent le plus souvent de pierres ou cailloux cassés.

Le profil de la voie badoise (fig. 205) tient du système allemand par le mode de pose des supports sur le lit spécial de pierres cassées, et de celui adopté en France et en Angleterre par la disposition générale de la couche de ballast. Il n'y a point de banquette au pied du talus du ballast qui fait prolongement au talus du corps de la route.

Enfin les voies françaises et anglaises sont généralement placées dans une couche de ballast simplement posée sur la plate-forme (fig. 204) ; celle-ci est tantôt horizontale, tantôt disposée en dos d'âne. Plusieurs ingénieurs ont recommandé de relever les bords de la plate-forme des remblais de quelques centimètres au-dessus de l'axe de la ligne, afin de prévenir l'effet du tassement, toujours plus sensible vers l'extérieur qu'au centre. Cette disposition vicieuse tend à transformer la plate-forme en cuvette et à rendre la voie ballottante, si les eaux s'y accumulent. On a ainsi tous les inconvénients de la voie encoffrée, sans avoir l'avantage que ce système procure, celui de diminuer le cube de ballast. Aujourd'hui la ligne de la plate-forme est généralement horizontale.

Tableau des volumes de ballast employés dans différents profils pour simple voie.

Lignes françaises et anglaises (Ep. = $0^m,50$)	(Fig. 204).	$2^{m3},125$
« allemandes.	(Fig. 208).	1 ,500
« belges	(Fig. 206).	1 ,365

Les calculs qui ont servi de base à cette comparaison, ne tiennent pas compte du volume des traverses. Si l'on suppose la voie établie sur des traverses espacées de 1 mètre d'axe en axe et cubant chacune $0^{m3},100$, la comparaison donnerait le résultat ci-après :

Lignes françaises et anglaises.	$2^{m3},025$
« allemandes.	1 ,400
« belges.	1 ,265

150. — Profil de la surface du ballast. — On ne saurait trop insister sur la nécessité absolue qu'il y a, dans l'établissement de la voie, à ménager aux eaux de pluie un écoulement prompt et facile. Si le ballast est perméable, on peut donner simplement à la voie le profil de la figure 204, ou, si l'on veut éloigner les eaux des extrémités des traverses afin de conserver aux rails une assiette solide, on peut creuser légèrement la surface du ballast entre les rails et donner une forte pente extérieure vers le talus (fig.210).

Pour prévenir les érosions sur la crête du talus, il vaut mieux raccorder l'accotement et le talus par une surface cylindrique sur laquelle les eaux s'écoulent facilement sans entraîner le ballast.

Fig. 210. — Profil de ballast (Est) 15/1000.

La figure 210 représente un ancien profil de l'Est, arrêté pour la voie à double champignon. Voici quelles ont été ensuite les dispositions adoptées pour les lignes en rails à large base.

Le ballast à l'intérieur de la voie est arasé à 5 centimètres environ au-dessus des traverses ; à l'extérieur et dans l'entrevoie, la surface est établie en pente de $0^m,10$ à partir du rail, le point de contact avec le rail étant à 2 centimètres au-dessous de la surface du roulement.

La largeur de l'accotement est de 1 mètre depuis le bord extérieur du rail jusqu'à la crête du talus du ballast.

Le plan de roulement des rails est à $0^m,44$ au-dessus de la couronne des terrassements.

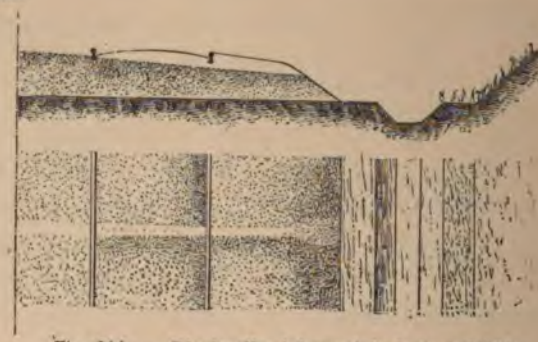


Fig. 211. — Rigoles d'assèchement du ballast (1/100).

Quand le ballast est peu perméable, on est obligé de ménager, dans le sens du profil en long, des *ados* très rapprochés qui permettent aux eaux de se réunir et de trouver un écoulement rapide. La figure 211 donne une idée du

système appliqué dans ce cas par le service de la voie de la ligne de l'Ouest.

Les rigoles sont assez rapprochées pour que le ballast ne présente en aucun point de partie plate ou concave, ce qui demande au moins une rigole par rail de 6 mètres.

Tous les ingénieurs savent que, dans une voie en exploitation, les rails ont une tendance très marquée au glissement. Pour les rails à double champignon, maintenus par des coussinets en fonte et des coins, le glissement diminue quand les coins chassés dans le sens de la marche des trains sont soigneusement recouverts de ballast. Ainsi préservés de l'action de l'air et du soleil, les coins se conservent dans un certain état d'humidité, et par conséquent de dilatation; la présence du ballast dont quelques parcelles s'interposent toujours entre le rail et le coin, produit encore un serrage plus énergique du rail dans son support.

Nous donnons plus loin (238 et 247) la description d'autres moyens propres à entraver le glissement des rails, mais nous pouvons indiquer ici que le choix du ballast n'est pas indifférent pour remplir ce but. S'il est trop gros, le coin est mal abrité et se trouve soumis aux variations atmosphériques. Si le ballast est trop fin, le coin ne tient pas en place; aussi fait-on bien, quand on a deux natures de ballast à sa disposition, d'en réserver une partie de moyenne grosseur pour garnir les coins d'où il résulte d'ailleurs une certaine complication.

Relativement à tous les profils employés, il reste une recommandation à faire: c'est d'éviter autant que possible de mettre en présence deux espèces de ballast, comme le sable et la pierre cassée par exemple. Au bout d'un certain temps il se forme un mélange très peu propre au maintien de l'assiette de la voie dans toutes les circonstances.

1er *FASCICULE*

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION

Des Conditions générales des Concessions.

CHAPITRE PREMIER

Études et Tracés

Nos		Pages	Nos		Pages
1.	— Considérations générales.	1	5.	— Embranchements.	6
2.	— Avant-projet.	3	6.	— Gares et stations.	7
3.	— Projet définitif.	4	7.	— Passages à niveau.	7
4.	— Pentes et courbes.	4	8.	— Observations.	8

CHAPITRE II

Terrassements

§ I. — Travaux préparatoires.

9.	— Piquetage.	9	11.	— Correction des courbes de raccordement.	16
10.	— Tracé des courbes de raccordement.	11	12.	— Raccordement parabolique ou à rayons variables.	16

§ II. — Exécution des tranchées et remblais.

13.	— Mouvement des terres.	17	17.	— Inclinaison des talus.	23
14.	— Tranchées.	18	18.	— Consolidation des remblais.	24
15.	— Remblais.	19	19.	— Dressement de la plate-forme	27
16.	— Précautions à prendre.	20	20.	— Dépôts et prélèvements.	27

§ III. — Entretien des tranchées.

Nos		Pages
21.	— Nature des terrains.	28
22.	— Terrains de bonne qualité.	28
23.	— Terrains glaiseux et argileux.	30
24.	— Terrains glaiseux avec couches perméables.	31
25.	— Direction et entretien des travaux.	34
26.	— Perrés et murs en pierre sèche.	37
27.	— Drainage en général.	39
28.	— Exemples divers de consolidation.	40
	Tranchée de Soultz.	40
	Tranchée de Clamart.	41
	Tranchée de Blisworth.	41
	Tranchées de Morcerf et Guérard.	42
29.	— Nécessité d'une étude géologique.	45

§ IV. — Entretien des remblais.

30.	— Causes de détérioration.	46
31.	— Remblais sur sol compressible	46
32.	— Remblais défectueux.	47
	Exemples :	
	Remblai de Falaise.	47
	Remblai de la Main-Weser-Bahn.	48
	Remblai de Villiers.	49
	Remblai de Sourbourg et des tourbières	50
	Remblai de Morcerf.	52
33.	— Action des eaux extérieures.	53
34.	— Entretien des dépôts et prélèvements latéraux.	54

§ V. — Entretien de la plate-forme.

35.	— Entretien courant.	55
36.	— Assainissements.	56
	Plate-forme du Theil.	
	Plate-forme en tranchée de la ligne de Wissembourg.	56
	Plate-forme en tranchées sur les chemins prussiens.	59
	Plate-forme en remblai sur la ligne de Coulommiers.	60
37.	— Assainissement de la plate-forme des stations.	68
	Gare de Wissembourg.	69
	Gare du Mans.	69
38.	— Paraneiges.	72

§ VI. — Chaussées.

39.	— Chaussées, voies d'accès, cours de stations.	78
40.	— Abords des passages à niveau	79
41.	— Matériaux des chaussées.	82
42.	— Chaussées empierrées.	
	Cylindrage des [illegible]	
43.	— Entretien des chaussées empierrées.	86
44.	— Chaussées pavées.	87
	[illegible]	88
	[illegible]	89

CHAPITRE III

Ouvrages d'art

§ I. — Travaux préliminaires.

Nos		Pages
47.	— Projet.	91
	Prescriptions de l'Administration en France.	92
48.	— Dimensions des ouvrages d'art	97
49.	— Piquetage et tracé.	100
50.	— Journal et carnet d'attachements.	92 101
51.	— Fouilles et fondations.	103

§ II. — Nature et emploi des matériaux.

52.	— Pierres cassées, cailloux, sable	104
53.	— Chaux.	104
54.	— Pouzzolanes et ciments.	107
55.	— Plâtre.	109
56.	— Mortiers.	110
57.	— Bétons.	110
	Chapes en béton.	112
58.	— Bétons agglomérés.	112
59.	— Moellons.	113
	Maçonnerie et taille des moellons de parement.	114
	Maçonnerie en moellons.	114
	Enrochements.	116
60.	— Pierre de taille.	116
	Maçonnerie de p. de taille.	116
61.	— Emploi des rochers calcaires dans les constructions.	117
62.	— Briques.	118
63.	— Maçonnerie de voûtes.	121
64.	— Rejointoiements, enduits.	122
65.	— Bois de charpente.	122
	Assemblages.	123
	Pieux et palplanches.	123
	Prépararation des bois.	123
66.	— Métaux.	124
	Fonte.	124
	Fonte maléable.	124
	Fer.	126
	Acier.	127
	Plomb et zinc.	128
	Assemblages.	128
67.	— Peinture.	128
68.	— Goudron, coaltar, asphalte. Chapes.	129
69.	— Résistance des principaux matériaux.	130
	Résistance à la traction.	133
	Résistance à la compression.	135

§ III. — Construction.

70.	— Généralités.	137
71.	— Substitution d'un ouvrage d'art à un remblai.	140
	Construction d'un pont en maçonnerie en dessous des voies en exploitation.	140
	Construct. d'un pont en fer.	144
72.	— Substitution d'un pont métallique à un pont en bois	146
	tauration des ponts en fer.	149
74.	— Substitution d'un pont en fer à un pont en maçonnerie.	151
75.	— Roulement d'un tablier de pont. Levage du pont.	153
76.	— Substitution de voûtes en maçonnerie aux ponts en bois.	155
	Pont de l'Ilmenau.	155
	Pont du Gerdau.	161
	Ponts de l'Aller.	163
77.	— Reconstruction de tunnels.	164

§ IV. — Entretien.

Nos		Pages
78. —	Ouvrages en bois.	167
79. —	Ouvrages en fer.	168
80. —	Ouvrages en maçonnerie.	169
81. —	Entretien des tunnels.	171
	Ecoulement des eaux.	171
	Réparation des tunnels.	173

CHAPITRE IV

Cultures, défenses du chemin

§ I. — Semis, gazonnements, plantations.

82 —	Semis pour herbages.	179
	Prix du mètre carré de semis.	
83. —	Gazonnements.	180
	Prix du mètre carré de gazonnements.	181
84. —	Boisements.	182
	Choix des espèces.	183
85. —	Exécution du boisement.	184
	Boisement par semis.	185
	Frais d'ensemencement.	186
	Boisement par plantation.	187
	Prix des plantations.	188
86. —	Utilisation des parcelles excédantes.	189
87. —	Entretien des boisements.	192
	Produits des talus et dépendances.	193
	Condition de location des talus et autres propriétés.	193
88. —	Fourrages.	194
89. —	Coupes de bois.	197
90. —	Pépinières.	198

§ II. — Clôtures.

91. —	But et utilité.	199
92. —	Haies vives.	201
	Forme.	201
	Choix des essences.	202
93. —	Préparation du sol,	
	Formation des haies.	204
94. —	Entretien des haies.	206
	Entreprise des haies.	207
95. —	Prix de revient des haies.	208
96. —	Haies fruitières.	210
97. —	Clôtures sèches.	210
	A, Clôtures à lisses.	210
98. —	B, Clôtures en fil de fer.	213
99. —	C, Clôtures mixtes.	214
	Jauge en diamètre des fils de fer.	214
100. —	D, Clôtures en échalas.	215
101. —	E, Clôtures en treillage.	216
102. —	Clôtures de stations.	218
	Clôtures spéciales.	218
103. —	Zône de garantie.	224
104. —	Bornage.	224

§ III. — Barrières de passages à niveau.

	Pages
— Conditions générales.	226
Largeur des chemins et des passages à niveau.	229
— Nature et emploi des matériaux	230
— Barrières pour piétons.	232
Tourniquets. Portillons. Guichets.	232
— Barrières à lisse.	237
Barrières à lisse tournante	240
Barrière à lisse glissante.	240
Barrières à lisse suspendue.	
Barrières à double lisse.	241

Nos		Pages
109.	— Barrières à bascule.	241
	Doubles barrières manœuvrées à distance.	241
110.	— Barrières à vantaux tournants.	245
	Barrières en bois à un vantail.	245
	Barrières à deux vantaux.	245
	Barrières en fer à vantaux tournants.	249
111.	— Barrières roulantes.	252
	Barrières roulantes en bois.	253
	Barrières roulantes en fer.	253
112.	— Passages sans barrière.	256

CHAPITRE V

Voie

---

§ I. — Systèmes divers.

— Considérations générales.	259
Largeur de la voie.	259
Inconvénients de la voie étroite.	
Rupture de charge, frais de transbordement.	261
Perte de temps, déchets, concurrence des autres routes	263
Privation de matériel.	263
Mauvais emploi du matériel	264
Avantages de la voie étroite	265
— Classification des systèmes de voie.	267
1re classe	
Voies à supports isolés.	
— Rails sur dés en pierre.	267
— Rails sur blocs en bois.	271
Plateaux-coussinets en fonte	273
Calottes sphériques en fonte	273

Nos		Pages
119.	— Plateaux-étaux en fonte.	274
120.	— Plateaux en bois.	274
121.	— Plateaux en fer.	275
122.	— Plateaux cellulaires en fonte	275
123.	— Calottes Livesey.	277
124.	— Cylindres-coussinets en fonte	277
	Dés en fer.	
125.	— Eclisses. — Tables.	278
126.	— Résumé.	278
	2e cl. Voies à supports conjugués.	
127.	— Rails sur coussinets en fonte et traverses en bois.	279
128.	— Rails sur coins et traverses en bois.	281
129.	— Rails sans coussinet sur traverses en bois.	282
130.	— Rails sur traverses en fer. Conditions générales.	282

Nos		Pages
131.	— Traverses en fer double T. Marcinelle et Couillet. Desbrières.	285
132.	— Système Massardier.	286
133.	— Système Sévérac. Traverse en acier à double T.	287
134.	— Traverses en fer simple T. Système Steinmann.	288
135.	— Traverses en U.	289
	Est français.	289
	Cantern.	291
	Ouest.	292
136.	— Traverses à profil polygonal	294
	Syst. : Faliès et Chollet.	294
	Langlois.	294
	Vantherin.	294
	Est-Français.	298
	Webb.	301
	Legrand et Salkin.	301
	Brunon.	302
	Post.	302
	Etat Français.	304
	Boyenval et Ponsard.	305
	Villemin.	308
	Panlet.	312
	Sébillot.	314
137.	— Traverses à profil curviligne	315
	Système central Belge.	316
	Livesey et Seyrig.	316
	Lartigue.	318
138.	— Résumé.	319
	3e classe. Voies à supports continus.	
139.	— Longuerines en bois.	320
140.	— Longuerines métalliques.	321
	Système Hilf.	321
	Système Scheffler.	325
	Système du Hanovre.	328
	Système Kostlin et Battig.	329
	Systèmes divers.	330
141.	— Résumé.	332
	4e classe. Voies sans supports.	
142.	— Rail Barlow.	333
143.	— Rail Hartwick.	334
	Application au chemin de fer de l'Est français.	336
144.	— Conclusion.	338

§ II. — Profils transversal.

145.	— Généralités.	339
146.	— Largeur de la voie.	340
147.	— Largeur de voie des chemins économiques.	341
148.	— Entrevoie et accotement.	342
149.	— Profil de la plate-forme.	344
	Volume du ballast.	349
150.	— Profil de la surface du ballast.	350

Stanford University Library
Stanford, California

In order that others may use this book, please return it as soon as possible, but not later than the date due.